técnica

388

associação dos estudantes do instituto superior técnico

maio 1969

revista de engenharia

HELIAÇO

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40
(«Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA
Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

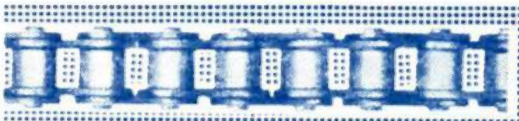
Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

REGINA-EXTRA
REX-REGINA



CORRENTES
para
indústria,
agricultura, etc.

AUTO-LUSITANIA
ALFREDO DUARTE, L.da
AVENIDA DA LIBERDADE, 73-77
LISBOA

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

S. A. R. L.

SEDE
Rua de Alexandre Herculano, 244 — PORTO
TELEFONES: 2 76 76 / 77 / 78 / 79 — Est. 90

DELEGAÇÃO
Rua Rosa Araújo, 35 — LISBOA
TEL.: 73 11 81/82/83/84/85/86 - 73 33 33 - 48 49 1

●

ELECTRICIDADE DO LINDOSO E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

●

A **UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA** distribui, pela mais extensa rede de alta tensão em Portugal (cerca de 2 500 km), energia eléctrica em 70 concelhos, nos distritos de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU, LEIRIA, SETÚBAL e ÉVORA.

CIMENTO SECIL

Fábrica:
Outão — Setúbal
Telef. 228824/5

Escritório:
R. do Comércio, 56-3.º
LISBOA 2
Telef. 328201/2/3

técnica

NÚMERO 388 MAIO DE 1969 ANO XLIV VOLUME XXXI PUBLICAÇÃO MENSAL

Corpo Redactorial

João M. Pereira
João Soares Alves
Rui Coutinho Torrinha
Silvério de Sousa Mendes

Editor e Proprietário

Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

Redacção e Administração

Avenida Rovisco Pais
Telefone 77 54 49
Lisboa 1

Assinaturas

		5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	—	70$00	130$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	80$00	140$00
Estrangeiro	—	90$00	150$00

Número avulso — 20$00

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais 103 — Lisboa

SUMÁRIO

395 *M. PRIESTLEY e ARTUR RAVARA* — **Comportamento de estruturas aporticadas sob acção de forças horizontais — Critério de simplificação.**
Behaviour of portico-like structures under the action of horizontal forces — simplifying criterion.

405 *DIOGO COSTA* — **Tratamento térmico de pequenas peças de aço.**
Thermic treatment of small steel tools.

415 *BRAZÃO FARINHA* — **Planificação de obras.**
Planning of works.

431 *VEIGA DA CUNHA* — **Evolução e posição actual dos conceitos sobre transporte sólido em escoamentos com superfície livre.**
Evolution and nowadays conceptions on sediment transportation in open-channel flow.

443 *R. D. GILLARD* — **Some topics in biological inorganic chemistry.**
Alguns tópicos sobre bioquímica inorgânica.

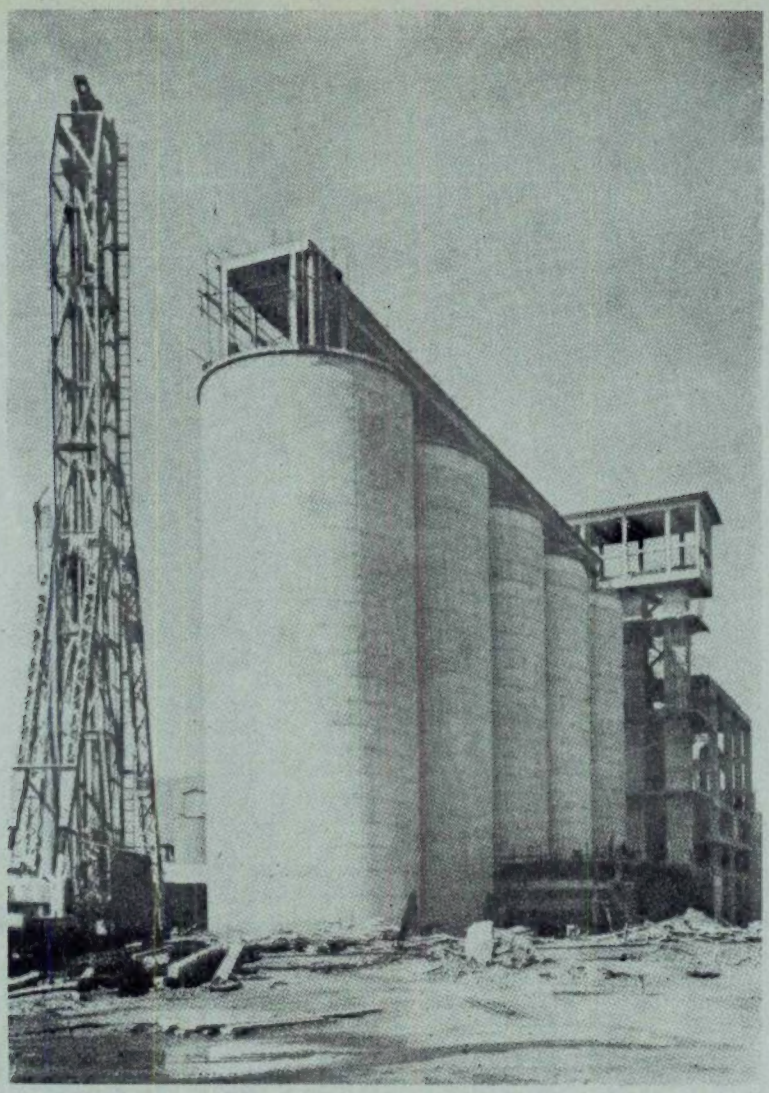
448 **Notas informativas.**
Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional.

451 **Bibliografia**

CAPA: ESTALEIROS DA LISNAVE — Navios em reparação. Observe-se entre outros o Universe Ireland de 326.000 Ton., o Berge Sigval de 101.000 Ton. e o português Larouco de 81.000 Ton..

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd.	XXX
Aguiar & Melo	XXIX
Asea Eléctrica	V e XXXIII
Auto-Lusitâna	2.ª da capa
Centro Técnico Hospitalar	XXV
Cimento Secil	2.ª da capa
Cometna	XXII
Companhia de Cimentos Brancos	VI
Construções Técnicas	XVII
Dial	XXI
Durán, Garcia & Ca.	XXXI
Electrotécnicos Reunidos	XII
Electro-Arco, Lda.	II
Empresa de Cimentos de Leiria	XXVII
Empresa Electro Cerâmica	XXXII
Empresa de Produtos Asfálticos	X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
Fábrica Portugal	XXXIV
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
Frapil	XV
Guedes & Almeida, Lda.	VIII e XX
Heliaço	2.ª da capa
INA	VII
Isola	XX
Jayme da Costa, Lda.	XIX
Johann Keller	V
J. F. Azevedo e Silva	IV
J. J. Silva & Irmão	V
J. Roma	VII
MAGUE	XIII
Mendes de Almeida, S A.R.L.	XXIII
Novobra, Lda.	XXVI
Prisma	XXI
Química Hoechst	XXXII
Romar	XXIV
Rotring	XXVIII
Siemens	4.ª da capa
Soc. Industrial Metalúrgica	XXVI
Sociedade Portuguesa Cavan	VI
Somague	XXVI
Sondagens e Fundações A. Cavaco	II
Sondagens Ródio, Lda.	VII
Sopecate	II
SPESA	XIV
Standard Eléctrica	IX
TUDOR	XXI
União Eléctrica Portuguesa	2.ª da capa
Wild Portugal, Lda.	III



BATERIA DE 5 SILOS

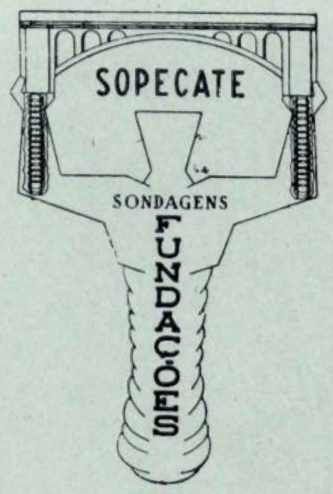
Assente sobre Estacas FRANKI

FUNDAÇÕES FRANKI L.DA

RUA BRAAMCAMP, 13-3.º — LISBOA 1 — TEL. P. P. C. 53 41 12/3/4 — ENDEREÇO TELEGRÁFICO: FRANKI — LISBOA

PRÉDIO SANTOS GIL, 6.º ANDAR — SALA 10 — TEL. 9 11 67 — CAIXA POSTAL 1397

ENDEREÇO TELEGRÁFICO: FRANKI—LOURENÇO MARQUES



sopecate

sondagens - fundações

ESCRITÓRIO: RUA DO ARSENAL 146 2.º TELEFONES 3 40 10 - 32 02 08 LISBOA

- ESTUDOS, PESQUISAS E CAPTAÇÕES DE ÁGUA
- SONDAGENS
- REBAIXAMENTO DE NÍVEIS AQUÍFEROS
- FUNDAÇÕES

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA - 1
- TELEF. 56 11 71/72/73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS
PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

MATERIAL APROVADO PELOS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

—

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93

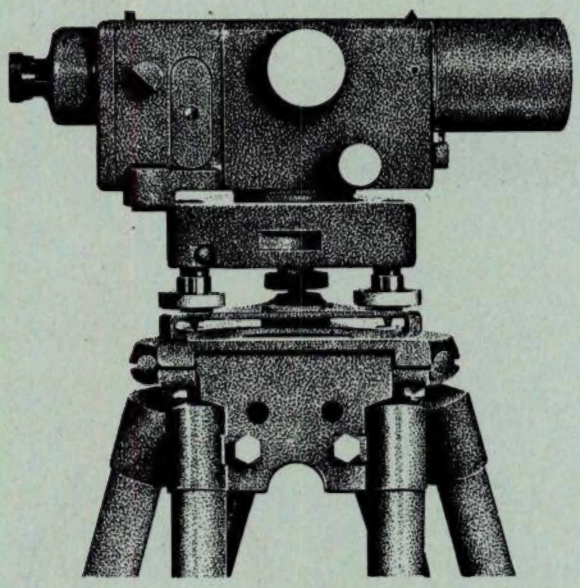
FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73

O novo Nível automático de engenheiro

WILD NAK 2

com círculo horizontal



WILD
HEERBRUGG

Para nivelamentos de média e grande precisão; com micrómetro de lâmina de faces plano-paralelas para nivelamentos de grande precisão.

Erro médio para 1 Km de nivelamento duplo: ± 1,5 mm

Erro médio para 1 Km de nivelamento duplo com micrómetro: ± 0,4 mm

Luneta de 30 × de aumento com imagem direita de observação

Solicitem catálogo ou demonstração aos representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA - 2 — TELEFONE 68 91 12

A DIALAP

Sociedade Portuguesa de Lapidação de Diamantes, S.A.R.L. Lisboa

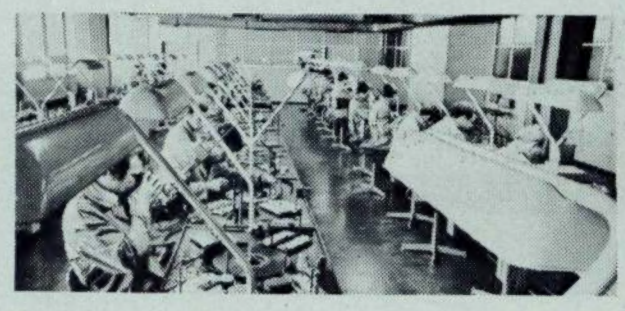
PROJECTOS:
ARQUITECTURA: arq. Carlos Ramos e António Guerra
ELECTRICIDADE: eng. J. F. de Azevedo e Silva

EQUIPOU AS BANCADAS DE TRABALHO DOS SEUS LAPIDADORES COM

lâmpadas especiais

DURO TEST®

tom de luz TURQUESA



A TURQUESA emite um fluxo luminoso de cor correspondente ao máximo de sensibilidade do olho humano, com o fim de reduzir a fadiga visual, facilitando consideràvelmente a percepção de pequenos pormenores, e proporcionando simultâneamente um ambiente agradável e repousante por eliminação do encandeamento.

Peça hoje mesmo uma demonstração ao representante exclusivo para todo o território português.

JF

J. F. DE AZEVEDO E SILVA & C.ª, L.DA

Rua S. Francisco de Sales, 2 — Telefone 65 41 65 — Lisboa 1

850 esc.

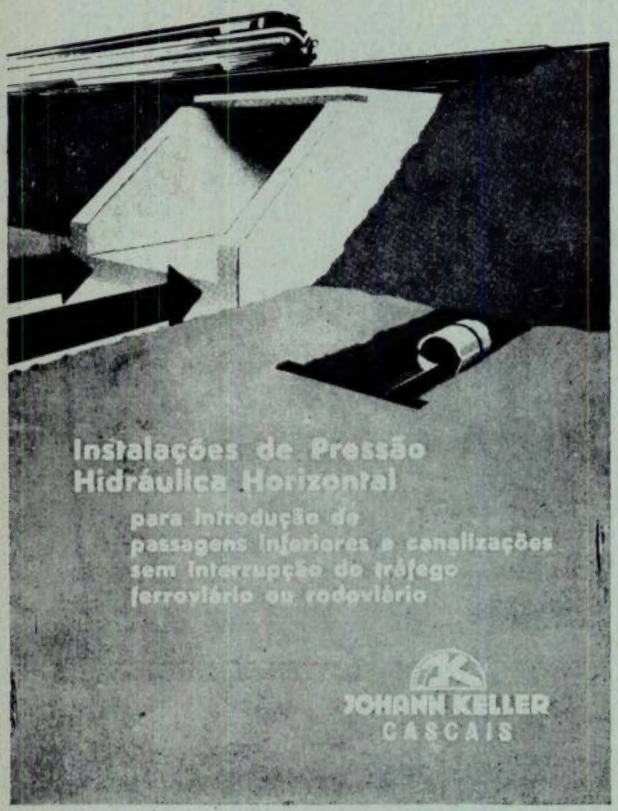
CARACTERÍSTICAS: Tubo de aço, articulado em qualquer posição, várias inclinações, fàcilmente transportável, não ocupa espaço quando fechado, pranchela de 1,20 × 0,80 de madeira, em tela. Pintura de estufa.

Em exposição, outros modelos de madeira e metálicos e todo o material de consumo e equipamento de desenho, escritório e papelaria

Distribuidores exclusivos, em Lisboa, do estirador da ***Fábrica Olaio***

J. J. SILVA & IRMÃO, LDA.

rua silva carvalho 232-b · lisboa · telefone 652750 / 680671



MARCA · A.E.6

Uma força criadora no domínio da electricidade

Condensadores

ASEA

Condensadores e baterias de condensadores de alta e baixa tensão, construídos para responder a todos os tipos de compensação de factor de potência.

ASEA ELÉCTRICA LDA.

Estrada do Prior-Velho
Tel. 251101 (5 linhas)
SACAVÉM
R. do Campo Alegre, 144
Tel. 67239
PORTO

O E[illegible]E[illegible] CI[illegible]ENT[illegible]NC...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

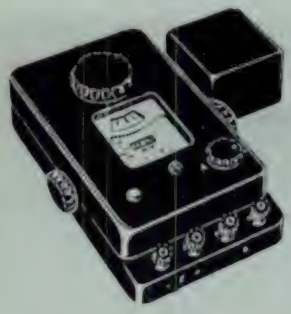
POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS
COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

SOCIEDADE PORTUGUESA **Carvam**

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A-LISBOA-1-TELEF. 47812-50129

• SOLDADURA ELÉCTRICA

• MATERIAL DE PROTECÇÃO



Aparelhagem de medidas eléctricas

+ indicadora
+ reguladora
+ registadora

J. ROMA, L.DA

P. da Figueira, 12, 1.º LISBOA Tel. 865151

P. do Município, 309-6.º S 3 PORTO Tel. 0236732

GAIOLAS DE AGULHAS INA

Com uma e duas filas de agulhas e em duas metades. Diâmetros dos veios de 3 a 390 mm. capacidades de carga dinâmica c de 130 a 60000 Kgs. para aplicação em espaços muito reduzidos.

ROLAMENTOS DE AGULHAS SCHAEFFLER, LDA.

R. Sá da Bandeira, 790-PORTO-Telefs. 21 17 5/8/9
Av. Ant. Augusto Aguiar, 148-D.-LISBOA-Tel. 56 14 89

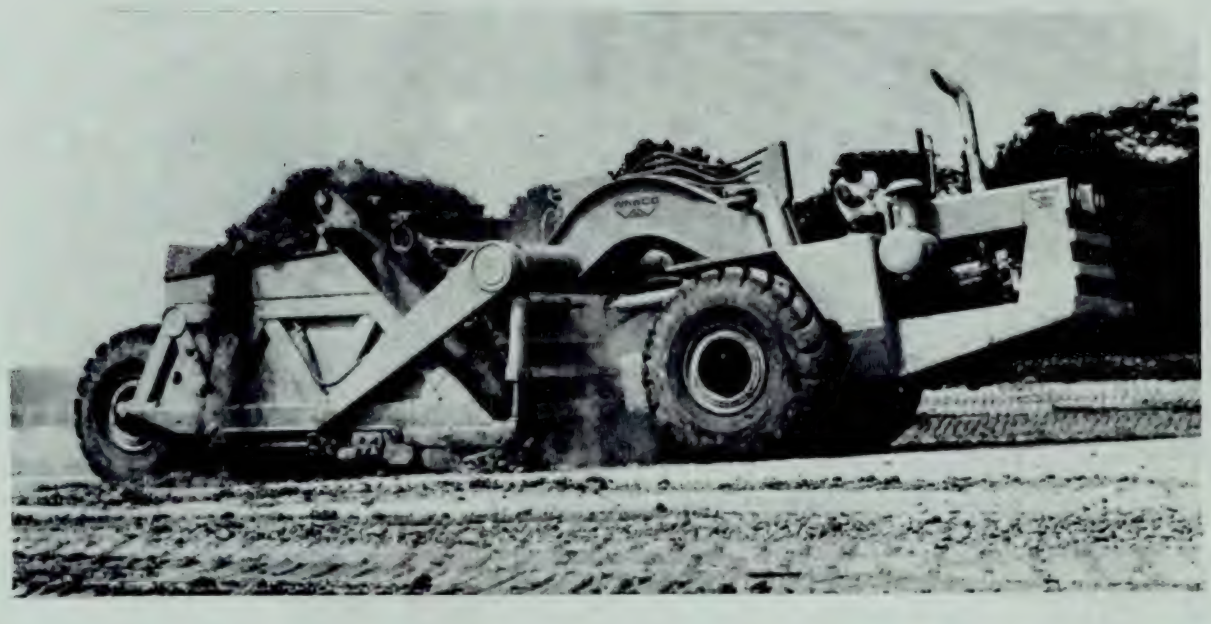
WABCO
WESTINGHOUSE
AIR BRAKE COMPANY
CONSTRUCTION EQUIPMENT DIVISION
PEORIA, ILLINOIS, 6160

MOTO-SCRAPERS AUTO-CARREGADORES

CAPACIDADE DE 11, 21 E 31 JARDAS CÚBICAS

NÃO NECESSITA DE TRACTOR PARA EMPURRE!
UMA SÓ MÁQUINA... UM SÓ OPERADOR...

Escarifica... Carrega... Transporta... Descarrega... Em terrenos de toda a natureza!



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDES & ALMEIDA LDA.

Rua Áurea, 181-2.º — LISBOA-2 — TELEFS. 32 50 80 e 32 78 45

A STANDARD ELÉCTRICA PROJECTA-SE NO MUNDO

Na vanguarda da indústria das Telecomunicações e Electrónica, a Standard Eléctrica, dimensionada ao âmbito mundial, ocupa uma prestigiosa posição nos mercados estrangeiros. A eficiência de uma administração actualizada, a capacidade técnica dos seus engenheiros e o profissionalismo com que todos os empregados encaram as suas responsabilidades, são valores reais e positivos que, de maneira decisiva, contribuem para o engrandecimento da Standard Eléctrica e da indústria nacional. Associada da International Telephone and Telegraph Corporation, um conjunto mundial com cerca de 200 fábricas localizadas em mais de 60 paises, a Standard Eléctrica fabrica numerosos produtos, desde os minúsculos transistores e circuitos integrados às grandes centrais telefónicas de serviço público, que são exportados para mais de 30 paises entre os quais se destacam: Inglaterra, França, Alemanha, Espanha, Suécia, África do Sul, Brasil e Estados Unidos da América do Norte.

Standard Eléctrica **ITT**

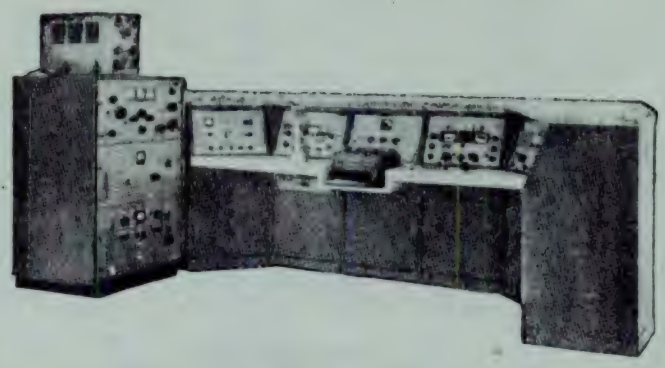
TG

PARA COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA USE:

Também próprio para: impermeabilizar terrenos, paredes, fundações, etc.

FÁBRICA EM SACAVÉM

RUA FILIPE FOLQUE-10 1º— LISBOA
TELEF. 53 01 56 —TELEG. EPALDA-LISBOA



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

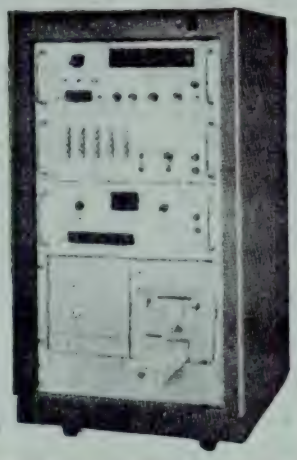
THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

HEWLETT **PACKARD**

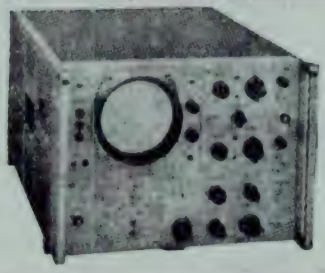
aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador digital Dymec



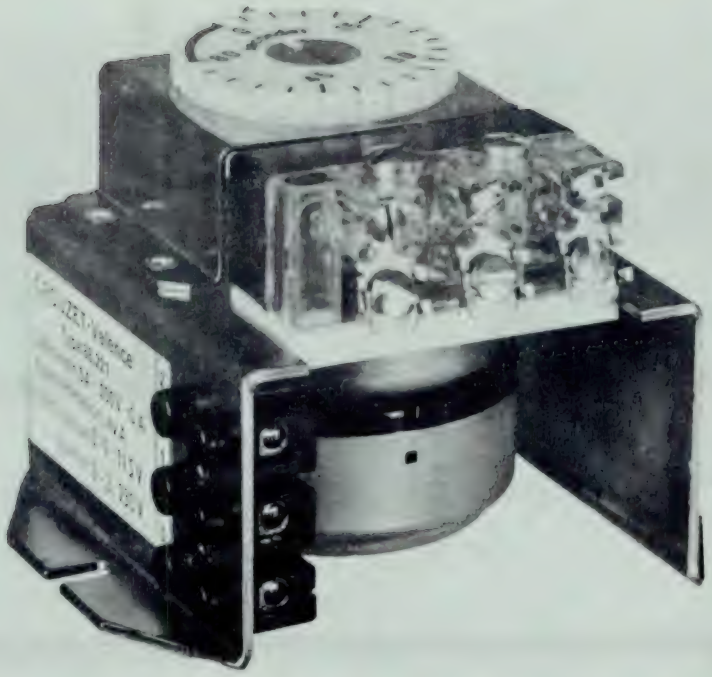
Registador Sanborn



Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.



TEMPORIZADOR MINIATURA
CROUZET

O temporizador miniatura Crouzet da série 88 221 é particularmente indicado para aplicações em que o preço e o tamanho são factores importantes.

Apresenta:

- Custo reduzido
- Pequenas dimensões
- Rearme automático
- Gamas de 0,5 a 120 seg.
- Contactos de grande capacidade
- Motor síncrono

ELECTROTÉCNICOS REUNIDOS, LDA.
AV. DUQUE D'AVILA, 66, 3.º TELEF 41161/5

técnica

NUMERO 388 MAIO DE 1969 ANO XLIV VOLUME XXXI PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 624.04 : 681.14

COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS APORTICADAS SOB ACÇÃO DE FORÇAS HORIZONTAIS — CRITÉRIO DE SIMPLIFICAÇÃO

por M. J. N. PRIESTLEY *
ARTUR RAVARA **
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

RESUMO

Apresenta-se um método de simplificação de estruturas aporticadas simples ou mistas (incluindo elementos de grande rigidez) submetidas a forças horizontais aplicadas nos nós, por meio do qual se determinam as características de um pórtico com um ou dois vãos, equivalente, sob ponto de vista de deformabilidade, à estrutura inicial. O método permite obter também, com razoável aproximação, os esforços que se desenvolvem na estrutura inicial.

Apresentam-se três aplicações numéricas do método, relativas a pórticos simples com 8 e 24 nós e a um pórtico misto com 63 nós em que o pilar central e um núcleo de grande rigidez. Comparam-se deformações ao nível dos pisos, frequências próprias e modos de vibração, verificando-se que em todos os casos a deformabilidade do pórtico equivalente é muito semelhante à do pórtico inicial.

SYNOPSIS

This paper outlines a method for simplifying multibay building frames or combined structures (frames associated with shear cores) under transverse loading by creating an equivalent one or two-bay frame. Although the method was designed mainly to reduce the work necessary in obtaining deflection profiles, it is easily extended to give average member forces.

Three examples are given concerning two frames with 8 and 24 joints and a combined structure with a central shear core with 63 joints. Horizontal floor deflections, natural frequencies and vibration modes are compared, the results showing that in all cases the values predicted by the equivalent frames are close approximation to the real behavionr.

1. INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento de uma estrutura aporticada sob a acção de forças horizontais é de primordial importância na maioria dos projectos de edifícios em que se torna necessário considerar as solicitações devidas ao vento e aos sismos.

Qualquer que seja o meio de cálculo adoptado, manual ou mecânico, o tempo e custo do cálculo são factores importantes dentro do projecto, pelo que tem a maior vantagem dispor de critérios simplificados que permitam obter o maior volume de informação possível sobre o comportamento da estrutura em estudo.

Neste trabalho apresenta-se um processo expedito para determinar as dimensões gerais e as características dos elementos de pórticos com 1 ou 2 vãos que sejam equivalentes, sob ponto de vista

* Engenheiro-Chefe do Laboratório de Estruturas, Ministério das Obras Públicas, Nova Zelândia (em estágio na Divisão de Dinâmica Aplicada do LNEC).

** Engenheiro Especialista, Chefe da Divisão de Dinâmica Aplicada, LNEC.

de deformabilidade para forças horizontais aplicadas nos nós, ao pórtico cujo comportamento se pretende estudar. O método permite também, dentro de certa aproximação, passar dos esforços no pórtico equivalente para os esforços que se desenvolvem no pórtico real.

Afigura-se que o método será especialmente vantajoso nos seguintes casos:

— em cálculos de pré-dimensionamento, permitindo estudar um maior número de soluções por um custo sensìvelmente reduzido;

— quando o número de nós e de barras do pórtico a estudar exceda a capacidade do computador onde se pretende realizar o cálculo;

— na determinação expedita das matrizes de deformabilidade ou de rigidez dos pórticos que constituem a estrutura de um edifício; esta determinação é indispensável sempre que se pretenda compatibilizar os deslocamentos dos pórticos ao nível dos pisos, no estudo do comportamento da estrutura no espaço [1];

— na determinação de deformadas para cálculo da frequência própria a partir do método de Rayleigh;

— na análise dinâmica de estruturas aporticadas, sujeitas à acção de vibrações industriais, vento, sismos, explosões, etc., especialmente se o método puder ser aplicado ao estudo em regime não linear, caso em que a economia que advirá da simplificação poderá tornar o cálculo acessível a computadores de dimensão média.

2. FUNDAMENTO DO MÉTODO

A deformada de um pórtico sob a acção de forças horizontais aplicadas nos nós pode considerar-se uma combinação dos três tipos de deformada indicados na fig. 1.

A deformada do tipo (a) resulta apenas da deformação axial dos pilares e sugere a deformada por flexão de uma consola vertical. A deformada do tipo (b), devida à flexão dos pilares, é característica dos casos em que a rigidez das vigas é muito grande em relação à dos pilares e sugere globalmente a deformada por esforço transverso de uma consola vertical. A deformada do tipo (c) representa a deformabilidade devida à flexão das vigas.

Os principais parâmetros que condicionam as deformadas (a), (b) e (c) são, além das características geométricas do pórtico (coordenadas dos nós e disposição das barras) as seguintes:

— para a deformada (a) a área das secções dos pilares e o respectivo momento de inércia em relação ao centro de rigidez;

— para a deformada (b) os momentos de inércia dos pilares;

— para a deformada (c) a rigidez de flexão relativa pilar-viga.

O método de simplificação que se apresenta neste trabalho consiste simplesmente um substituir um pórtico que se designa por *inicial* por outro pórtico que se designa por *equivalente*, constituído por um número de barras inferior ao pórtico inicial e em que se mantêm os parâmetros característicos dos três tipos de deformada referidos.

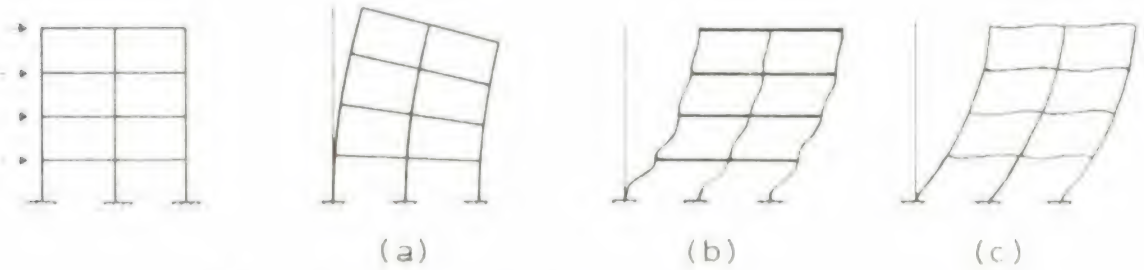


Fig. 1 — Esquematização da deformada transversal de um pórtico

[1] Borges, J. Ferry, Ravara, A. — *Estudo do Comportamento de Estruturas de Edifícios sob Acção de Forças Horizontais.* 2.ª Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, Rio de Janeiro e S. Paulo, 1967.

3. APLICAÇÃO DO MÉTODO

Indica-se seguidamente as operações a efectuar para obter as características do pórtico equivalente. A ordem por que se processam as operações é importante.

3.1 — Constituição do pórtico equivalente

Regra geral o número de pisos e a distância entre eles manter-se-ão. O número de vãos será reduzido a 1 ou 2, conforme se indica na fig. 2.

Não há, em qualquer dos casos indicados na fig. 2 irregularidades provenientes de supressão de tramos de pilares ou de vigas a um ou mais níveis. Embora nestes casos se possa conceber um pórtico simplificado, como se indica na fig. 3, considera-se que o método que se apresenta neste trabalho se aplica especialmente a estruturas onde não se verifiquem aquelas irregularidades.

3.2 — Características dos pilares do pórtico equivalente

A rigidez por flexão, por esforço transverso e por esforço axial de um pilar do pórtico equivalente deve ser igual à do conjunto dos pilares da estrutura real que ele simula (fig. 2). Para isso, a área e o momento de inércia de cada troço de pilar do pórtico equivalente devem ser iguais à soma das áreas e dos momentos de inércia dos troços de pilares que eles substituem.

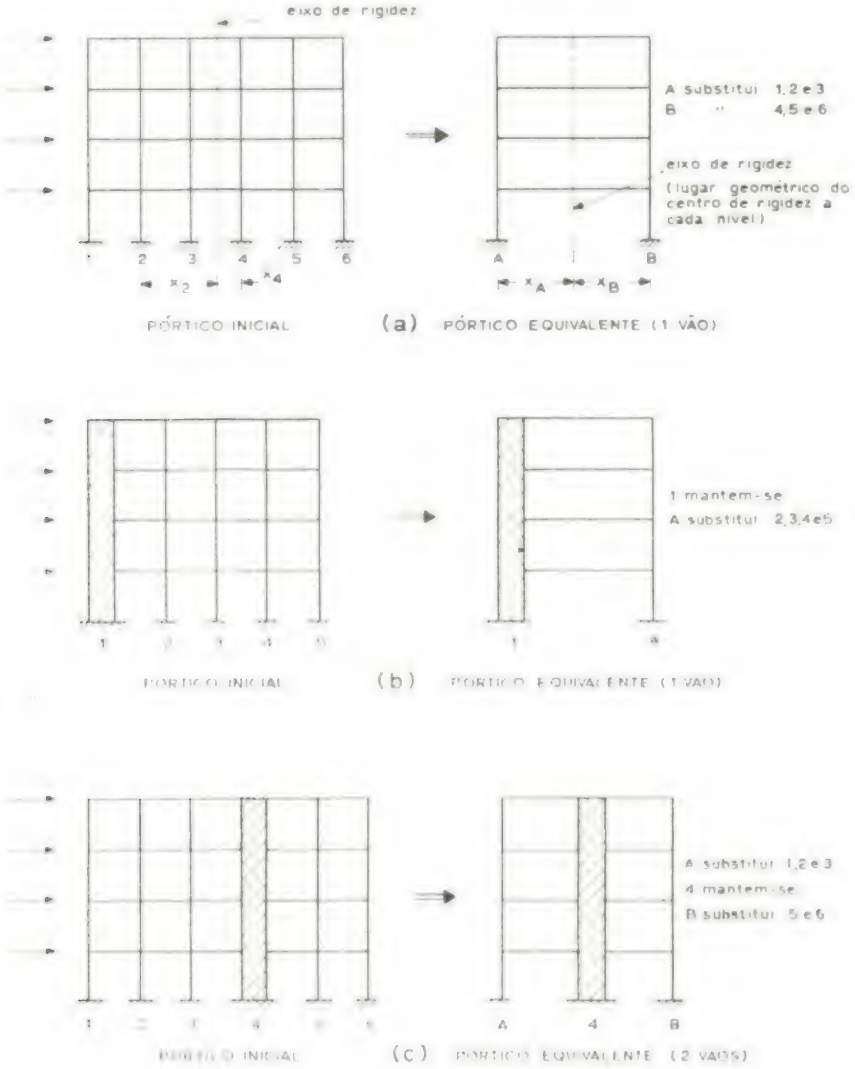


Fig. 2 — Constituição de pórticos equivalentes

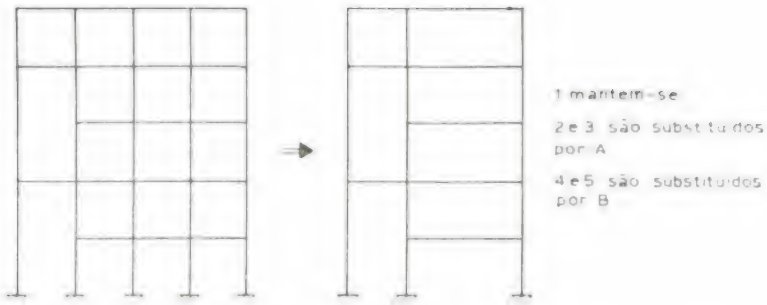


Fig. 3 — Pórtico equivalente com supressão de tramos de vigas

3.3 — Vãos das vigas do pórtico equivalente

A distância entre eixos de pilares do pórtico equivalente deve ser tal que o momento de inércia dos pilares em relação ao centro de rigidez do pórtico, I_t, se mantenha, a cada nível, igual ao do pórtico inicial. Para isso deverá ser:

$$I_t = \left(\sum_{i=1}^{n} A_i x_i^2 \right)_{\text{p. inicial}} = \left(\sum_{j=1}^{2 \text{ ou } 3} A_j x_j^2 \right)_{\text{p. equiv.}} \quad (1)$$

designando por A_i e x_i a área e distância ao centro de rigidez dos pilares do pórtico inicial e por A_j e x_j as mesmas grandezas referidas ao pórtico equivalente.

Os valores de x_j assim obtidos variam com o nível considerado. Ao adoptar-se um valor médio que permita definir os vãos do pórtico equivalente, convirá em geral atribuir maior peso aos valores relativos aos níveis inferiores, onde os pilares estão sujeitos a maiores esforços.

No caso da fig. 2a) por exemplo, uma vez determinada a posição do eixo de rigidez do pórtico inicial, pela equação $\sum_i A_i x_i = 0$ e calculado o momento de inércia $I_t = \sum_i A_i x_i^2$, o vão das vigas do pórtico equivalente será $l = x_B - x_A$ tal que se verifique simultâneamente:

$$\begin{aligned} A_A x_A + A_B x_B &= 0 \\ A_A x_A^2 + A_B x_B^2 &= I_t \end{aligned} \quad (2)$$

Se o pórtico equivalente tiver 2 vãos (fig. 2c) proceder-se-á do mesmo modo, obtendo-se então, de acordo com a fig. 4:

$$\begin{aligned} -x_1 + x_3 &= a + b \\ -x_1 + x_2 &= a \\ A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 &= 0 \\ A_1 x_1^2 + A_2 x_2^2 + A_3 x_3^2 &= I_t \end{aligned} \quad (3)$$

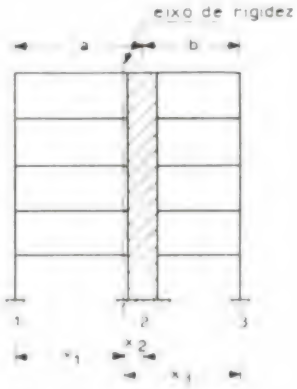


Fig. 4 — Portico equivalente com 2 vãos

designando por A_1, A_2 e A_3 as áreas dos pilares 1, 2 e 3. Para tornar o sistema (3) determinado poderá fixar-se o valor de x_2, distância do eixo de rigidez ao núcleo, adoptando o valor relativo à estrutura inicial.

3.4 — Rigidez das vigas do pórtico equivalente

A área das vigas do pórtico equivalente deverá ser tal que a rigidez por esforço axial a cada nível se mantenha igual à da estrutura inicial. O momento de inércia das vigas do pórtico equivalente será tal que a rigidez relativa dos nós do pórtico equivalente seja igual à soma da rigidez relativa dos nós correspondentes na

estrutura inicial. Assim, no caso da fig. 5, deverá ser:

$$\frac{L_E}{A_E} = \left(\frac{l_1}{A_{12}} + \frac{l_2}{A_{23}} + \frac{l_{3E}}{A_{34}}\right) \times \frac{L}{l_1 + l_2 + \frac{l_3}{2}}$$

$$\frac{L_D}{A_D} = \left(\frac{l_{3D}}{A_{34}} + \frac{l_4}{A_{45}} + \frac{l_5}{A_{56}}\right) \times \frac{L}{l_4 + l_5 + \frac{l_3}{2}}$$

$$\frac{I_E}{L} = \frac{2\, I_{12}}{l_1} + \frac{2\, I_{23}}{l_2} + \frac{I_{34}}{l_3} \qquad (4)$$

$$\frac{I_D}{L} = \frac{I_{34}}{l_3} + \frac{2\, I_{45}}{l_4} + \frac{2\, I_{56}}{l_5}$$

$$\frac{L}{A} = \left(\frac{l_1}{A_{12}} + \frac{l_2}{A_{23}} + \frac{l_3}{A_{34}} + \frac{l_4}{A_{45}} + \frac{l_5}{A_{56}}\right) \frac{L}{l_1 + l_2 + \ldots + l_6} \qquad (5)$$

e o momento de inércia pela média de I_E e I_D.

Em estruturas mistas pode adoptar-se o mesmo critério ou mais simplesmente considerar sempre vigas de secção constante em que o momento de inércia é calculado considerando apenas, a cada nível, a rigidez dos tramos contíguos ao núcleo, como se indica na fig. 6.

A razão de ser desta aproximação vem do facto da deformabilidade de uma estrutura deste tipo depender, no que diz respeito às vigas, especialmente da rigidez dos tramos que estão ligados ao núcleo.

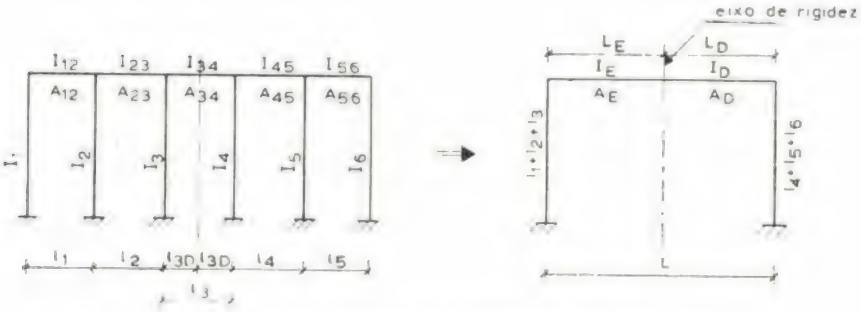
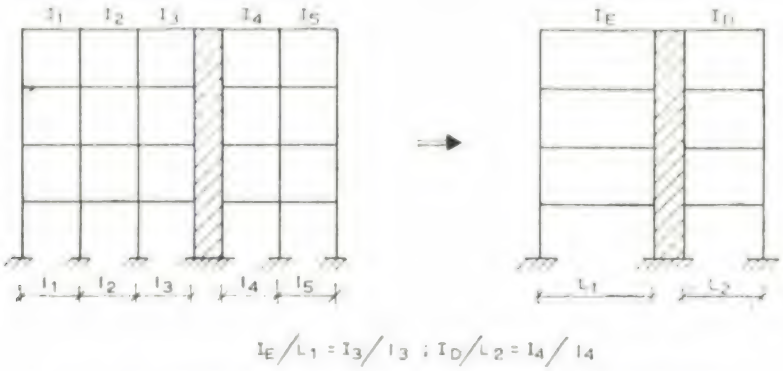


Fig. 5 — Inércia da viga equivalente

Verifica-se assim que em geral a viga equivalente será constituída por tramos de características diferentes; se os valores obtidos para I_E e I_D não diferirem muito, será preferível considerar a viga equivalente com secção uniforme, sendo então a área A dada por (5):

4. CONDENSAÇÃO VERTICAL

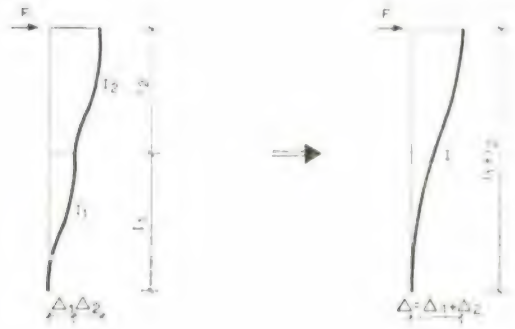
O método exposto pode incluir a simplificação em altura, substituindo cada dois pisos por um piso equivalente. Esta condensação da estrutura na direcção vertical terá particular interesse no



$I_E / L_1 = I_3 / l_3$; $I_D / L_2 = I_4 / l_4$

Fig. 6 — Inércia das vigas equivalentes numa estrutura mista

caso de edifícios com grande número de pisos. Em complemento das operações referidas em 3 é necessário determinar o momento de inércia dos pilares equivalentes. Indica-se na fig. 7 as condições a satisfazer para que o pilar equivalente tenha a mesma deformabilidade que os pilares da estrutura inicial.



$$\Delta_1 = \frac{F\,l_1^3}{12\,E\,I} \qquad \Delta_2 = \frac{F\,l_2^3}{12\,E\,I} \qquad \Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{F\,(l_1+l_2)^3}{12\,E\,I}$$

Fig. 7 — Pilar equivalente

Será então:

$$I = \frac{I_1\,I_2\,(l_1+l_2)^3}{I_2\,l_1^3 + I_1\,l_2^3} \qquad (6)$$

5. ESFORÇOS NAS BARRAS

É possível obter valores aproximados dos esforços que se desenvolvem nas barras do pórtico inicial a partir da análise do pórtico equivalente: os momentos flectores e esforços transversos nos pilares do pórtico equivalente devem ser distribuídos pelos pilares correspondentes da estrutura inicial na razão dos respectivos momentos de inércia. Os esforços axiais nos pilares devem ser distribuídos proporcionalmente ao produto da área de cada pilar pela respectiva distância ao centro de rigidez, na estrutura inicial.

Para obter os momentos flectores nas extremidades das vigas devem distribuir-se os momentos flectores das vigas equivalentes proporcionalmente à rigidez I/l das vigas que lhe correspondem na estrutura inicial, conforme se indica na fig. 8.

Para o tramo de vão l_1 será então:

$$M_{1e} = -M_{1d} = \frac{M_E}{\dfrac{2\,I_1}{l_1} + \dfrac{2\,I_2}{l_2} + \dfrac{I_3}{l_3}} \cdot \frac{I_1}{l_1} \qquad (7)$$

e anàlogamente para os restantes tramos.

O esforço transverso em cada tramo, T_i, será obtido a partir dos momentos flectores de extremidade, $M_{ie} = -M_{id}$:

$$T_i = \frac{2\,M_i}{l_i}$$

sendo l_i o vão.

Finalmente o esforço axial nas vigas a cada nível é o mesmo para o pórtico equivalente e para o pórtico inicial.

Deve notar-se que o grau de aproximação com que são obtidos os esforços nas vigas é menor que o dos pilares. É possível na maioria dos casos melhorar os resultados rectificando os esforços obtidos de modo a que os nós fiquem equilibrados. De qualquer forma é necessário ter-se em atenção que o principal objectivo do método é determinar a deformabilidade dos pórticos e que a sua extensão para o cálculo de esforços tem limitações, pelo que deve ser feita com cuidado.

6. EXEMPLOS

Nas figs. 9 a 12 apresentam-se os resultados da aplicação do método exposto a 3 estruturas. Indicam-se os valores dos deslocamentos horizontais dos pisos. Verifica-se que para as estruturas aporticadas das figs. 9 e 10 a aproximação é superior à que se obtém na estrutura mista conside-

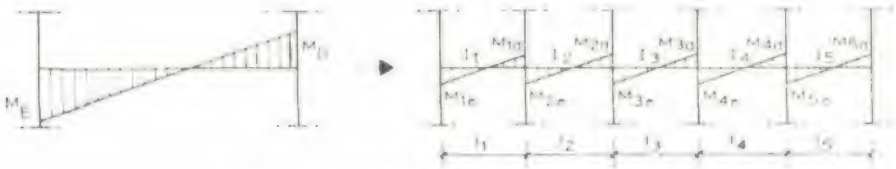


Fig. 8 — Distribuição de momentos nas vigas

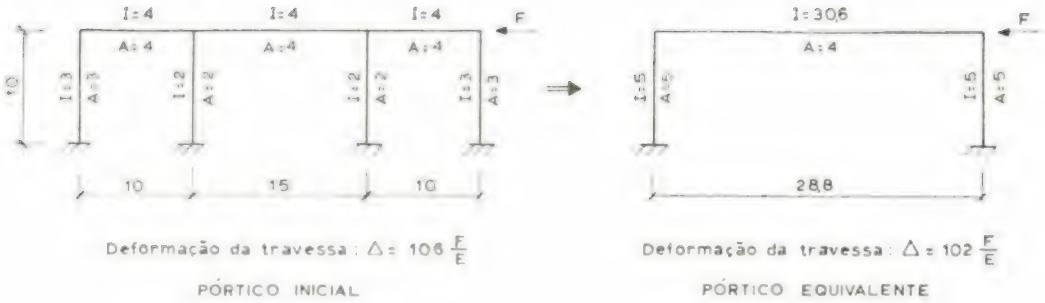


Fig. 9 — Exemplo 1

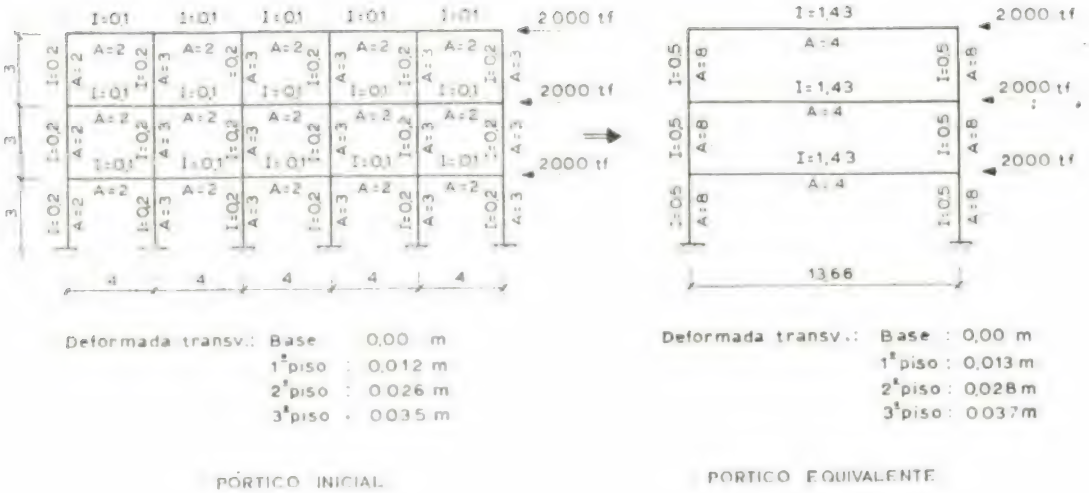


Fig. 10 — Exemplo 2

rada na fig. 12. Mesmo neste caso no entanto o erro para a deformação no topo da estrutura não exede 10%.

Na fig. 11 comparam-se as matrizes de deformabilidade, frequências próprias e modos de vibração dos pórticos inicial e equivalente considerados no exemplo 2. Na fig. 12 indicam-se os valores da frequência própria fundamental determinada pelo método de Rayleigh.

Nos exemplos 2 e 3 considerou-se que o peso da estrutura, suposto concentrado ao nível dos pisos, tem os valores das forças horizontais aplicadas.

O cálculo das estruturas apresentadas nos exemplos foi feito no computador NCR Elliott 803-B com que estava equipado o Centro de Cálculo Automático do LNEC*. Na análise da estrutura mista do exemplo 3 utilizou-se um programa recentemente preparado no LNEC para o estudo deste tipo de estruturas [1].

* Substituído em Dezembro de 1968 por um computador NCR Elliott 4130.

MATRIZES DE DEFORMABILIDADE $m\,tf^{-1}$

Pórtico inicial

$$10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1.43 & 2.16 & 2.29 \\ 2.16 & 4.91 & 5.93 \\ 2.29 & 5.93 & 9.07 \end{bmatrix}$$

Pórtico equivalente

$$10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1.64 & 2.39 & 2.47 \\ 2.39 & 5.39 & 6.39 \\ 2.47 & 6.39 & 10.05 \end{bmatrix}$$

FREQUÊNCIAS PRÓPRIAS E MODOS DE VIBRAÇÃO

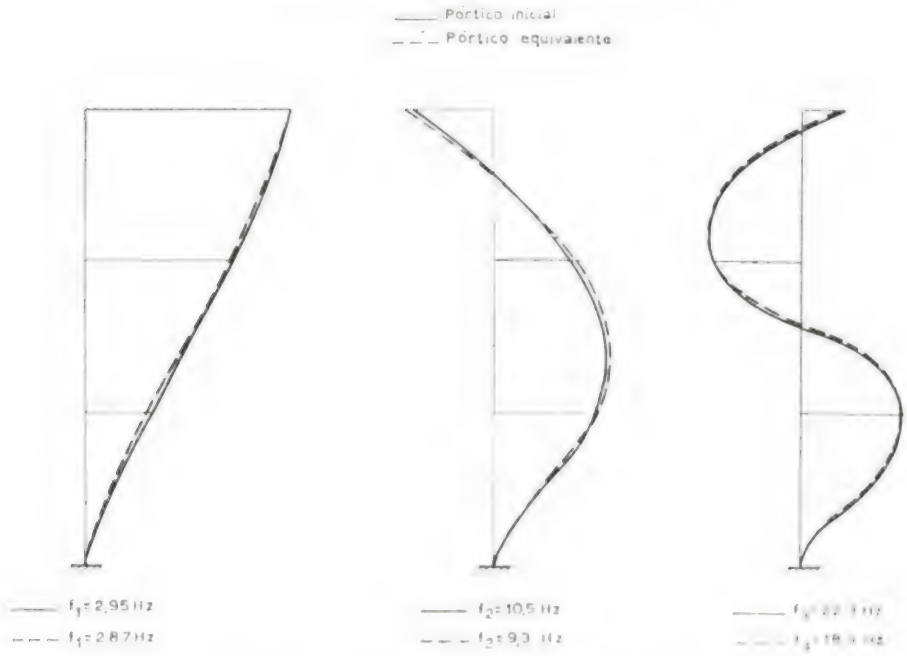


Fig. 11 — Características dinâmicas dos pórticos do Exemplo 2

MAGUE

Ponte rolante eléctrica especial para manuseamento de substâncias radioactivas de 2 x 1,2 t/9,3 m em serviço na Société Eurochemic (Mol.-Bélgica).

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS — *Projecto e fabrico*

TURBINAS HIDRÁULICAS — *Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*

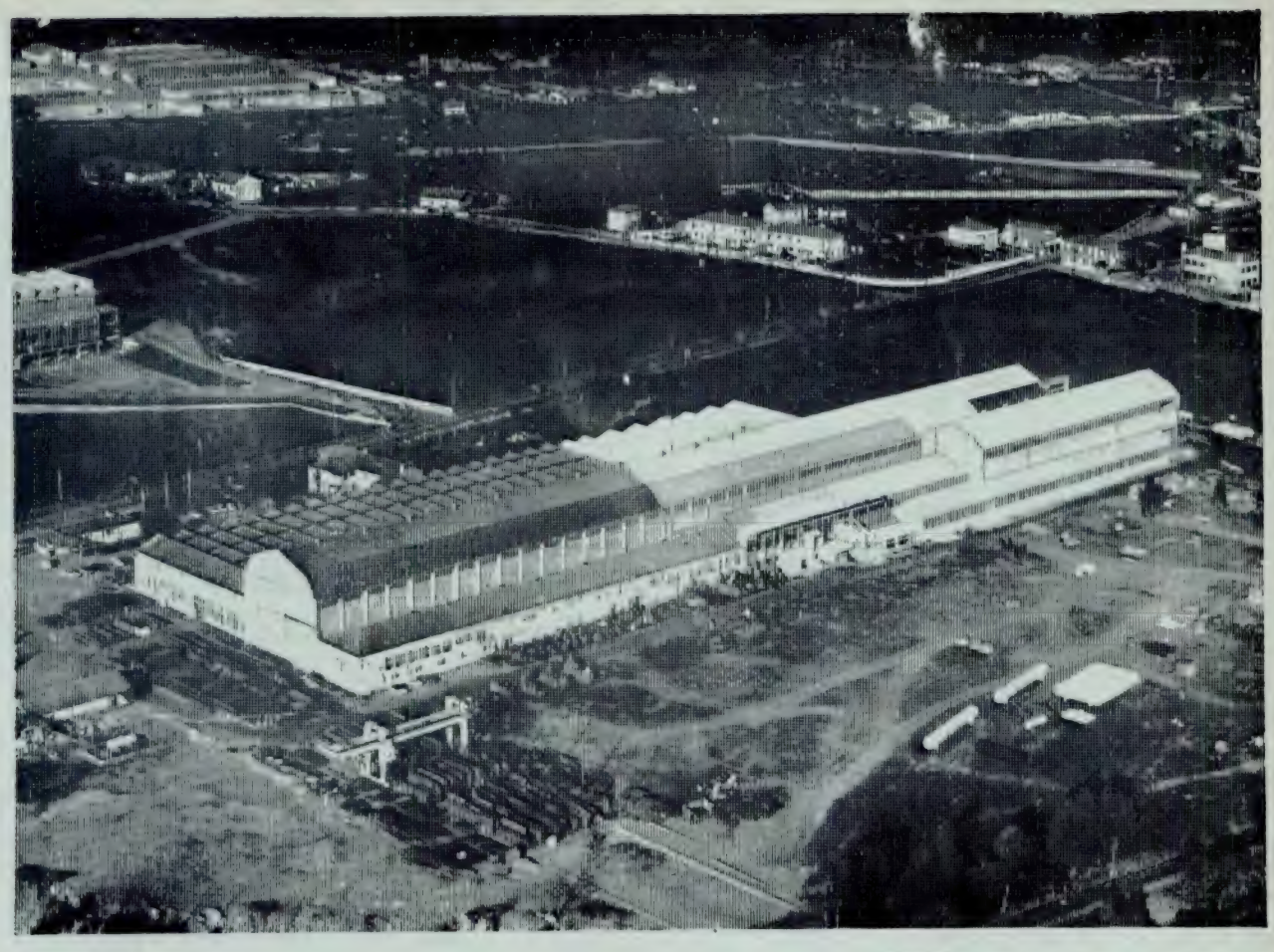
TURBINAS A VAPOR — *Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*

CALDEIRAS A VAPOR — *Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*

EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L.

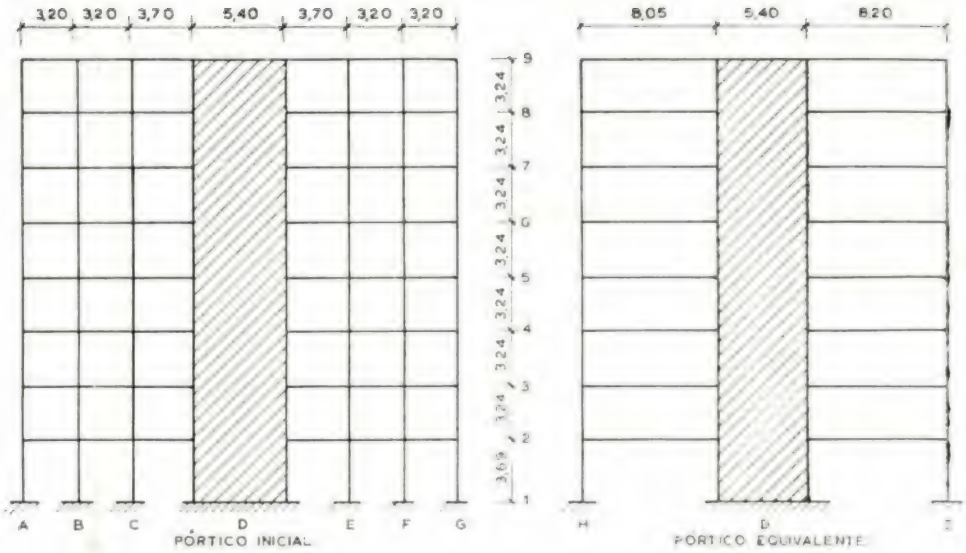
ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL



SEPSA - INSTALAÇÕES FABRIS - LEÇA DO BAILIO

- **ALTERNADORES** (de potência superior a 2000 kVA), **COMPENSADORES SÍNCRONOS, MOTORES DE GRANDE POTÊNCIA** (fabricação parcial).
- **EQUIPAMENTOS PARA INDÚSTRIAS QUÍMICAS E PETROQUÍMICAS**
  Tubagens, tremonhas, reactores, permutadores, cisternas, etc.
- **EQUIPAMENTOS PARA INDÚSTRIAS PETROLÍFERAS**
  Torres, balões, permutadores, filtros, aerorefrigerantes, tubagens, etc.
- **EQUIPAMENTOS PARA INDÚSTRIAS CIMENTEIRAS**
  Fornos, moinhos, separadores, arrefecedores, etc.
- **RESERVATÓRIOS**
  De tecto fixo e tecto flutuante, de alta e baixa pressão. Para gases liquefeitos. Gasómetros
- **EQUIPAMENTOS DE MANUTENÇÃO E TRANSPORTE**
  Elevadores de alcatruzes, elevadores de palhetas, transportadores de tela metálica e de borracha, contentores, etc.
- **ESTRUTURAS METÁLICAS**
  Pontes, cimbres, coberturas, pisos, edifícios industriais, etc.
- **MONTAGENS PESADAS**

SEPSA SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES ELECTRO-MECÂNICAS, S.A.R.L.
APARTADO 8 • LEÇA do BAILIO • TELEX SEPSA P 2616



NIVEL	VIGAS		PILARES							
			A		B,F,J		C,E		D	
	A	I	A	I	A	I	A	I	A	I
1 – 2			31	001	160	0033	170	0035	814	22.61
2	253	0.136								
2 – 3			31	001	135	0023	144	0024	764	2130
3,4,5	227	0082								
3 – 5			31	001	108	0018	123	0020	710	17.30
6 a 9	215	0052								
6 – 9			31	001	081	0014	100	0017	656	1463

VIGAS		PILARES			
		H		J	
A	I	A	I	A	I
		64	0079	49	0102
253	0299				
		55	0057	414	0069
227	0180				
		541	0049	338	0057
215	0113				
		491	0040	261	0044

NÍVEIS	FORÇAS (tf)	DEF. TRANSVERSAL, m	
		P. INICIAL	P. EQUIV
2	444	0,0023	0,0023
3	487	0.0065	0.0069
4	487	0,0117	0,0126
5	446	0,0173	0,0187
6	446	0,0227	0,0246
7	446	0,0275	0,0300
8	446	0,0316	0,0348
9	424	0,0354	0,0391

FREQ. PROPRIA FUNDAM.

Pórtico inicial: 3.11 Hz

Pórtico equivalente: 3.00 Hz

A - Área m^2

I - Momento de inercia, m^4

Fig. 12 — Exemplo 3

7. CONCLUSÕES

O método de simplificação de pórticos simples ou com elementos verticais de grande rigidez que se apresenta neste trabalho é de aplicação expedita e permite uma economia considerável no estudo do comportamento sob acção de forças horizontais.

A precisão dos resultados obtidos é suficiente para a maioria das aplicações práticas, especialmente na determinação das deformações transversais. No tocante à determinação dos esforços a aproximação é menor, devendo encarar-se os resultados como informativos da ordem de grandeza dos esforços desenvolvidos na estrutura inicial. Considera-se aliás que, embora tenham sido descritas com precisão as operações necessárias para determinar as características do pórtico equivalente, a prática do método permitirá ajustar certos pormenores e melhorar a aproximação dos resultados.

Afigura-se que o método será particularmente útil em cálculos de pré-dimensionamento, no estudo do comportamento de edifícios sob a acção de forças horizontais e na análise dinâmica de estruturas, para a qual os métodos existentes são muito trabalhosos, especialmente no estudo do comportamento em regime não-linear e onde portanto uma simplificação deste tipo representa uma redução substancial no volume de cálculo necessário.

C. D. U. 669.14:621.78

TRATAMENTO TÉRMICO DE PEQUENAS PEÇAS DE AÇO

pelo Eng.º JOSÉ DIOGO COSTA
do Instituto Nacional de Investigação Industrial

RESUMO

Apresenta-se a experiência adquirida durante alguns anos no tratamento térmico de pequenas peças de aço, focando os aspectos teóricos e práticos da têmpera isotérmica martensítica, cementação, nitruração, tratamento do aço rápido, indicando sempre que possível os limites das propriedades que se pretende obter.

Faz-se também referência aos métodos de controle utilizados na aceitação das peças após tratamento, de acordo com as especificações que são impostas ao fabrico.

SYNOPSIS

The experience gotten during some years in the thermic treatment of small steel tools is presented, fowsing the theoretical and practical aspects of martempering, nitriding treatment of high speed teol steel, indicating whenever possible the limits of properties that ar wanted.

Reference is also made to the control methods used in the aceptance of methods after treatment, acording to the specifications imposed to factor ing.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No presente trabalho apresenta-se a experiência adquirida durante alguns anos de prática no tratamento térmico de pequenas peças de aço, o qual tem adquirido considerável importância nos actuais processos de fabrico. Embora existam ainda muitas empresas que o consideram um problema secundário e que possuem instalações inadequadas à sua realização, outras há, porém, que se modernizam de acordo com as últimas tendências da técnica, colocando esta secção em paralelo com os outros processos de fabrico recentes.

Os métodos empíricos de tratamento térmico vão sendo abandonados e substituídos por outros em que tem papel preponderante o conhecimento dos fenómenos metalúrgicos, mas cuja aplicação exige equipamento de grande precisão.

As instalações modernas devem realizar os tratamentos segundo normas predeterminadas, mantendo temperaturas com pequena variação e com ciclos de aquecimento e arrefecimento regulares e controláveis. Para a execução dos diferentes processos dispõe-se do seguinte equipamento: fornos de sais, fornos de atmosfera protectora, de vácuo, com circulação forçada de ar, máquinas de têmpera por indução, etc.

Deve salientar-se que as peças em causa são, na maioria das vezes, submetidas em serviço, a solicitações extremamente severas, sobretudo no que respeita à fadiga, o que exige uma elevada resistência interna.

Tem-se procurado solucionar estes problemas conservando uma dureza superficial elevada (aplicando a cementação em meio sólido ou líquido) e utilizando, sempre que necessário, aços cromo-níquel ou cromo-manganês.

Devido a um conjunto de factores, entre os quais se destaca o reduzido diâmetro equivalente das peças a tratar, o aço de têmpera mais utilizado é um aço ao carbono que, após o revenido apresenta uma dureza compreendida entre 38 a 52 HRc.

Deve também salientar-se que a evolução da técnica construtiva dos vários equipamentos a que se destinam as peças introduz outra condição ao problema metalúrgico, pois para peças de forma complicada e dureza elevada impõe que o tratamento térmico se realize após a maquinação, mas a obtenção da imprescindível intermutabilidade só se consegue com um dimensionamento muito bem estudado, com tolerâncias de fabrico geralmente muito apertadas.

Os métodos de tratamento térmico aplicados que se apresentam a seguir têm dado plena satisfação, não se excluindo, evidentemente, a hipótese de uma possível melhoria resultante da adopção das novas técnicas que, em princípio, facilitariam a obtenção de resultados ainda melhores.

2. TÊMPERA ISOTÉRMICA MARTENSÍTICA

O tratamento de têmpera tendo em consideração as dimensões das peças e as características

a obter, consiste na chamada têmpera isotérmica martensítica, designado também por «Martempering» em que o constituinte final é a martensite, mas em que o arrefecimento é descontínuo e interrompido a uma temperatura e durante um intervalo de tempo determinados permitindo que a peça atinja a mesma temperatura em todos os pontos sem que a austenite sofra alteração.

A fim de melhor objectivar esta definição, representa-se esquemàticamente na figura 1 o

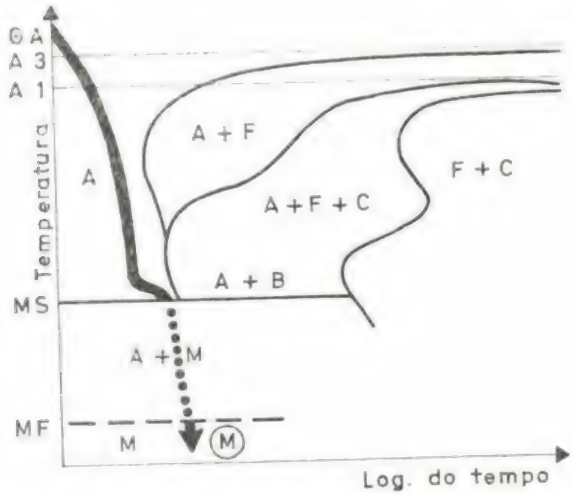


Fig. 1 — Representação esquemática da temperatura isotérmica martensítica.

respectivo ciclo térmico, que compreende sucessivamente:

— aquecimento à temperatura de têmpera;
— condições de arrefecimento;
— temperatura e tempo de permanência.

A temperatura de austenitização é importante, por estar relacionada com a dimensão do grão austenítico, grau de homogeneização, dissolução do carbono e ainda porque afecta a posição da linha Ms, cujo conhecimento é fundamental neste processo de tratamento.

Na grande maioria dos casos, a temperatura escolhida é idêntica à da têmpera em óleo, devendo ser ligeiramente aumentada quando se deseje alcançar uma dureza final mais elevada.

A temperatura do banho de arrefecimento deve permanecer constante, a cerca de 180 C — 200 C, o que exige controle apropriado.

Não se conhecendo a temperatura mais adequada para um dado tratamento, ela pode determinar-se experimentalmente, aumentando sucessivamente a temperatura, até se obter a melhor combinação de dureza e distorção.

Como se pretende obter uma estrutura martensítica com tensões de origem térmica mínimas, não há necessidade de manter as peças durante demasiado tempo no banho de arrefecimento, o que poderia mesmo ser contraproducente, na medida em que origina uma estabilização da austenite, sobretudo quando se utiliza aço com elementos de liga.

Na figura 2 apresentam-se os resultados referentes a arrefecimento de peças de diferentes dimensões.

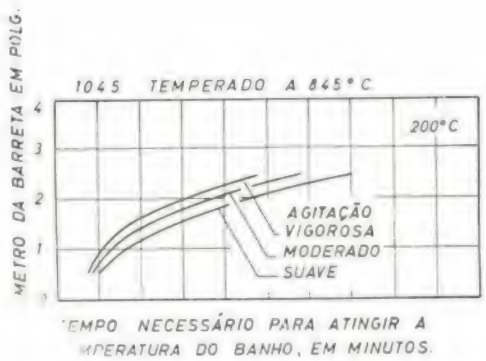


Fig. 2 — Arrefecimento de peças de diferentes dimensões.

O tempo de imersão pode ainda reduzir-se a cerca de 50 % pela adição de 1 % a 2 % de água, devendo salientar-se que, geralmente, é necessário adicionar diàriamente uma certa quantidade para compensar a evaporação provocada pelo arrefecimento das peças quentes, sem o que se corre o risco de obter resultados irregulares.

O arrefecimento a seguir ao banho deve fazer-se ao ar calmo, a fim de reduzir, tanto quanto possível, a diferença entre as velocidades de arrefecimento no exterior e no interior das peças.

Após o arrefecimento, as peças podem manter-se à temperatura ambiente sem risco de fissuras, pois as tensões residuais são mínimas.

Os tipos de aço utilizado e os tratamentos aplicados indicam-se a seguir, no Quadro I, que poderá servir de base a qualquer aplicação industrial.

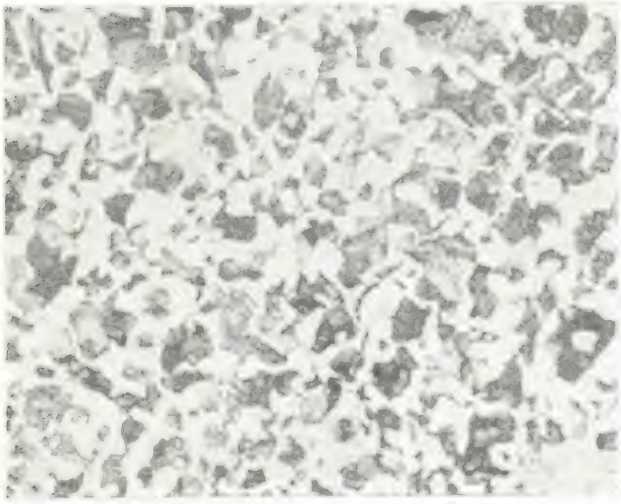
QUADRO I

Aço	Temp. de têmpera	Temp. de arrefecimento	Dureza após revenido
C 45	820°C	180-200°C	27 + 8 HRc
C 75	850°C	180-200°C	47 + 5 »
20 Ni Cr Mo	830°C	180-200°C	42 + 5 »
36 Ni Cr Mo	830°C	180-200°C	72 + 3 HRb

Após o arrefecimento, as peças são revenidas em forno com circulação forçada de ar, onde devem manter-se pelo menos 2 horas, para baixas temperaturas, tempo este que poderá ser reduzido proporcionalmente, à medida que se empregam temperaturas de revenido mais elevadas.

X 500

Fig. 4 — Aço temperado — ataque com nital. Estrutura martensítica, que se apresenta sob a forma de agulhas com várias colorações, conforme a respectiva orientação.



X 200

Fig. 3 — Aço recozido com 0.45 % de carbono — ataque com nital. Estrutura constituída por grãos de ferrite e perlite de dimensões sensivelmente iguais.

X 500

Fig. 5 — Aço temperado e revenido — ataque com nital. O revenido provoca a precipitação de cementite sob a forma de pequenos glóbulos cujas dimensões aumentam com a temperatura de tratamento.

3. TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

3.1. — Cementação em meio sólido

Com a cementação pelo carbono em meio sólido, é alterada a natureza superficial do metal.

Neste processo, as peças de aço são devidamente colocadas em caixas de aço resistente ao calor, em presença de um agente carburante adequado ao aço a tratar e à profundidade de cementação a obter.

O mecanismo de cementação em caixa pode exprimir-se da seguinte maneira:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$
$$CO_2 + C \rightarrow 2\,CO$$
$$3\,Fe + 2\,CO \rightarrow CFe_3 + CO_2$$

O tratamento realiza-se, geralmente, a temperaturas que podem variar entre 850-950 °C, muito embora, por várias razões, se prefira trabalhar na vizinhança dos 900 °C.

Na cementação em meio sólido pretende-se obter um teor em carbono à superfície de cerca de 1 %; acima desse valor poderá ocorrer a precipitação de carbonetos, que é indesejável; para isso deve utilizar-se, sempre que possível, o arrefecimento ao ar e nunca no forno de tratamento.

Deve geralmente obter-se uma variação uniforme da camada cementada, o que se consegue pelo controle da mistura cementante, que se regenera renovando periòdicamente o agente utilizado. De qualquer modo, é difícil obter uma profundidade de cementação que apresente uma variação total inferior a 0,02 mm, até porque a própria posição das peças não sendo simétrica em relação ao aquecimento, tende a dificultar a obtenção da regularidade desejada.

Para obter esta regularidade na produção, é necessário ter em atenção um certo número de pontos, em especial os seguintes:

- dimenções das caixas bem proporcionadas às peças a cementar;
- peças bem limpas antes do tratamento;
- aquecimento feito lentamente até se atingir a temperatura de cementação;
- arrefecimento rápido das caixas após a cementação.

Deve ainda salientar-se que as peças podem ser protegidas parcialmente, de maneira a evitar a sua cementação em certos pontos, o que não acontece na cementação em meio líquido. Por outro lado, este processo tem o inconveniente da sua longa duração, sendo acompanhado de numerosas manutenções que o tornam de aplicação difícil. Em certos casos, pode ser vantajosamente substituído pela cementação em atmosfera gasosa, produzida a partir de um agente cementante, em fornos especiais com ventilação forçada.

Este tratamento não evita, como òbviamente se compreende, a necessidade de tratamentos posteriores da têmpera e revenido, salientando-se que é indispensável que o banho de têmpera seja adequado ao teor em carbono à superfície das peças, de maneira a evitar a descarburação, havendo, por vezes, vantagem em que a sua temperatura seja a mínima compatível com a obtenção da dureza desejada, a fim de evitar a formação de austenite residual.

3.2. — Cementação em meio líquido

Este método é o mais utilizado na cementação de peças de pequenas dimensões, que são mergulhadas directamente em sais fundidos de composição conveniente, durante um intervalo adequado à função da profundidade a obter.

Este método tem, entre outras, as seguintes vantagens: rapidez de tratamento (cerca de quatro vezes mais rápido do que a cementação em meio sólido, o que tem a vantagem de permitir alcançar uma produção importante com um investimento reduzido), regularidade da profundidade de cementação, facilidade de trabalho.

Os banhos empregados são constituídos à base de cianeto de sódio, carbonato de sódio, cloretos de sódio e de bário.

A reacção básica é a seguinte:

$$(CN)_2\ Ba + 3\ Fe \longrightarrow Fe_3\ C + CN_2\ Ba$$

e que pode também exprimir-e da seguinte maneira:

$$2\ CN\ Na + Cl_2\ Ba \longrightarrow (CN)_2\ Ba + 2Cl\ Na$$

O $(CN)_2$ Ba decompõe-se em cianamida e carbono activo, que é absorvido pela austenite.

A acção cementante deve-se, principalmente, ao activador, pela presença de sais alcalino-terrosos, como o bário, cálcio ou estrôncio.

Para cementações pouco profundas, utiliza-se um banho à base de cianeto, enquanto que, no caso geral, se adiciona um activador de modo a que o potencial de carbono se situe entre 0,9 a 1,1 %.

A obtenção da regularidade das condições de cementação só se consegue pelo controle diário da temperatura de trabalho e dos teores em cianeto e carbono, que há necessidade de ajustar periòdicamente.

A profundidade de cementação pode estimar-se a partir das curvas apresentadas na figura 6, em que se evidencia a influência preponderante da temperatura na duração do processo, mas não exclui a necessidade de ensaios práticos que servem para precisar as condições de tratamento.

O processo operatório deste tratamento decorre da seguinte maneira: as peças convenientemente atadas são colocadas no banho de cementação à temperatura e durante o tempo pré-determinados sendo, em seguida, arrefecidas em banho de sais

Fig. 6 — Relações entre temperatura, duração e profundidade de cementação.
(Banho de cementação Durferrit C 3)

a 180-200 °C; apresentam a estrutura que se mostra na figura 8.

Após esta fase, são revenidas em forno de circulação forçada de ar, na maioria dos casos a 200 °C, de modo a conservarem a dureza máxima exterior.

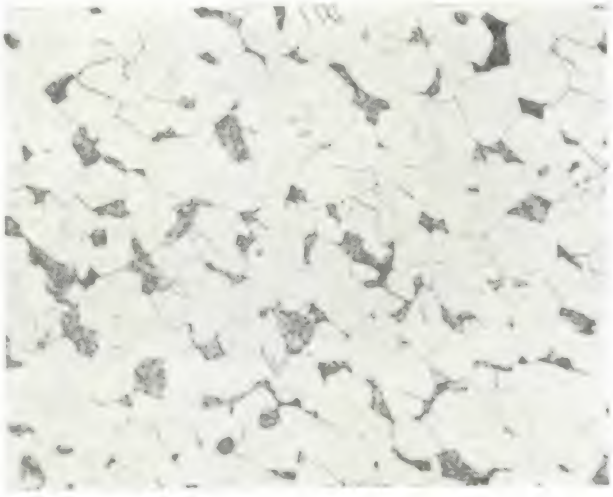
Algumas vezes, porém, o processo de cementação pode ser diferente, sobretudo quando se tratar de aços de cromo-manganês em que, devido ao tempo de cementação, haverá necessidade de regenerar as características do material e garantir deformações mínimas. Aplica-se então o seguinte esquema de tratamento térmico:

— cementação a 910 °C durante o tempo necessário para atingir a profundidade pretendida;
— transferência para um banho a 560 °C e permanência variável conforme a qualidade do material, pretendendo-se regenerar a dimensão do grão austenítico e ao mesmo tempo obter a transformação perlítica;
— transferência imediata para o banho de têmpera, que se encontra a uma temperatura adequada, seguindo-se o arrefecimento e revenido, do modo habitual.

Com este processo pretende-se reduzir as deformações provocadas pelas variações de temperatura, por meio de uma sucessão de operações a temperatura elevada, mas com o inconveniente de a determinação da transformação perlítica exigir um estudo complexo, impossível de realizar com os meios oficinais.

A título de esclarecimento, indica-se o tratamento aplicado a uma peça de pequenas dimensões em açocromo-níquel:

Cementação	930 °C	. . . .	70 minutos
Permanência	580 °C	. . . .	80 »
Têmpera	820 °C	. . . .	20 »
Arrefecimento	180 °C	. . . .	5 »
Revenido	180 °C	. . . .	180 »
Dureza final			78 + 3 HR_a



X 500

Fig. 7 — Aço de cementação — ataque com nital. Estrutura ferrítica com grão de pequenas dimensões no qual se evidenciam zonas escuras de perlite.

X 500

Fig. 8 — Aço cementado — ataque com nital. Evidencia-se a estrutura de cementação em meio líquido seguida de têmpera.

4. TRATAMENTO DE AÇO RÁPIDO

Designam-se por aços rápidos, os aços que permitem atingir elevadas velocidades de corte, conservando as suas propriedades até temperaturas da ordem de 500-600 °C.

As composições químicas inicialmente utilizadas, cujo principal elemento de liga era o tungsténio, originaram outras, das quais se apresentam no Quadro II as mais importantes:

QUADRO II

Composição-tipo de aços rápidos

Grupos	COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM %						Temperatura	Revenido
	C	W	Cr	Va	Mo	Co		
Tungsténio . . .	0,75	18	4	1	—	—	1280-1300 °C	560-580 °C
	0,80	18	5	1,5	1	—	» »	» »
	0,75	14	4	0,3	—	—	1260-1280 °C	» »
Cobalto	0,95	20	4	—	11	20	1300-1320 °C	580-600 °C
	0,85	18	5	1,5	1,5	18	1300-1320 °C	» »
	0,85	18	5	1,5	1	10	» »	» »
	0,85	18	5	1,5	1	5	» »	» »
Vanádio	1,25	15	4,5	4	0,5	—	1280 °C	600 °C
	1,20	11	4,5	3	0,5	—	»	»
Molibdénio . . .	0,85	6	4,5	2	6	—	1300 °C	560 °C
	0,90	6,5	5	2	5	—	»	»
Tungsténio . . .	0,70	12	5	2,5	2,5	—	1280-1300 °C	560 °C
Molibdénio . . .	0,75	11	4	2	2	—	» »	»

A obtenção de propriedades de utilização adequadas implica o cumprimento, tão exacto quanto possível, de um certo número de factores que a seguir se mencionam.

O ciclo de tramento térmico deste tipo de aço representa-se esquemàticamente na figura 9, tido como ponto de partida para as seguintes considerações:

— o aquecimento das peças até à temperatura da têmpera deve realizar-se lentamente, a fim de reduzir o choque termico e evitar, quanto possível, a descarburação superficial. Para isso, devem realizar-se pelos menos dois pré-aquecimentos: o primeiro a cerca de 560 °C e o outro a 850 °C, que pode completar-se por um breve aquecimento a uma temperatura ainda mais elevada, o que reduziria a permanência à temperatura de têmpera;

— a composição química dos aços rápidos determina a temperatura de têmpera a utilizar, conforme se indica no Quadro II, devendo, porém, considerar-se que as dimensões das peças a tratar condicionam a escolha adequada da respectiva temperatura, sem esquecer a necessidade de dissolver convenientemente os carbonetos, se se pretende obter melhor rendimento da ferramenta;

— o arrefecimento deve fazer-se em banho de sal a cerca de 540 °C, deixando às peças o tempo suficiente para homogeneizar a temperatura, prosseguindo ao ar o arrefecimento até à temperatura ambiente.

A estrutura do aço rápido temperado é constituída por 70 % de martensite, 20 % de austenite residual e 10 % de carbonetos não dissolvidos.

Devido à percentagem relativamente elevada de austenite residual, a dureza após a têmpera está, geralmente, compreendida entre 61-63 HRc.

No que respeita ao revenido, convém salientar que uma temperatura crescente produz um alívio

de tensões da matriz martensítica, cuja dureza diminui. Ao mesmo tempo, uma parte do carbono dissolvido na martensite precipita ou combina-se com os elementos de liga presentes para formar carbonetos sub-microscópicos.

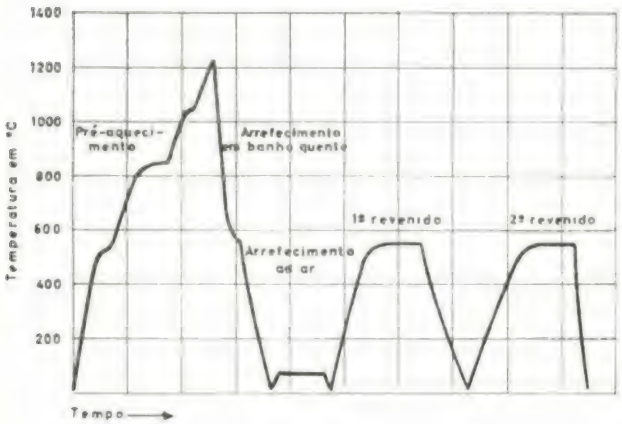


Fig. 9

Acima de uma certa temperatura, os carbonetos aumentam de dimensão provocando a redução da coesão da matriz e da respectiva dureza.

Deste processo resulta que a austenite restante empobrece em elementos de liga, que é a condição prévia de transformação de austenite residual-martensite durante o arrefecimento.

O facto de a transformação da austenite residual se dar sòmente, durante o arrefecimento, a partir da temperatura do revenido indica o interesse da aplicação prática do revenido, explicando cabalmente a dificuldade de decompor a austenite após um revenido prolongado, se bem que dois ou três revenidos de curta duração satisfaçam.

Após o revenido, a estrutura do aço rápido devidamente tratado, representada na fig. 10, é constituída por uma matriz de martensite revenida, carbonetos especiais e austenite residual em percentagem inferior a 8 %.

Além de aumentar a dureza deste material, o revenido melhora também a sua tenacidade. Na figura 11 apresenta-se a variação da dureza em função da temperatura de revenido, salientando claramente o endurecimento secundário.

Um tratamento também citado na literatura técnica como permitindo suprimir a austenite residual, realiza-se a temperatura abaixo de zero. Segundo alguns autores, os seus resultados são apreciáveis, mas a realização oficinal levanta dificuldades ainda nem sempre bem resolvidas.

X 500

Fig. 10 — Estrutura de um aço rápido tratado.

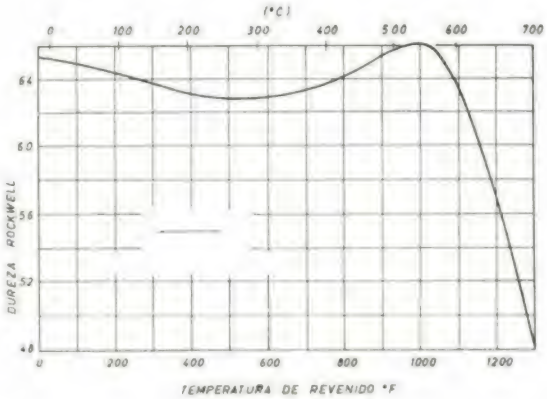


Fig. 11 — Curva da dureza em função da temperatura de revenido de um aço rápido 18-4-1 após tempêra a 1285° em óleo. Teor em carbono 0,7 % tempo de revenido 2 horas.

Na figura 12 apresenta-se a curva T. T. T. de um aço rápido; da sua apreciação salientam-se os seguintes factos:

— existência de uma zona estável de austenite que permite utilizar arrefecimentos lentos no tratamento térmico;
— a zona perlítica está situada a 700 °C, iniciando-se a respectiva transformação após 10 minutos à temperatura; a zona bainítica encontra-se situada a 300 °C;

— a percentagom de martensite transformada à temperatura ambiente é de cerca de 70 %.

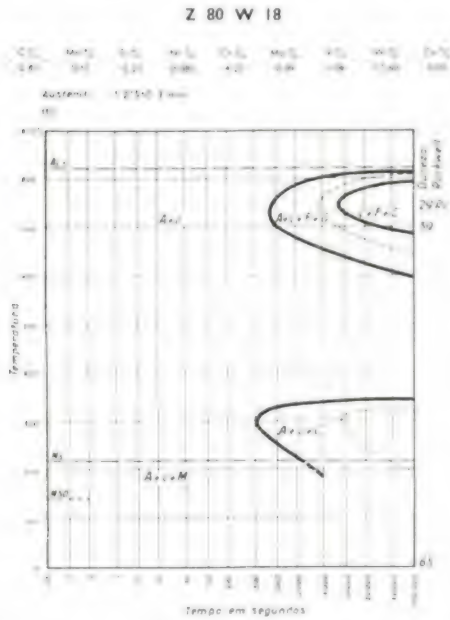


Fig. 12 — Diagrama de transformação isotérmica de um aço rápido.

5. NITRURAÇÃO

O processo de nitruração utilizado corresponde a uma técnica desenvolvida pela Degussa, conhecido fabricante alemão de equipamento de tratamento térmico e designado por processo Tenifer.

Neste processo, a nitruração é feita em banho de sal fundido num cadinho com revestimento de titânio, que trabalha a temperaturas entre 530 °C e 570 °C. O banho compõe-se de dois sais, um contendo cianatos e outro cianetos; por meio de insuflação constante de ar, o cianeto de potássio é oxidado e passa a cianato. Este constitui o elemento essencial para o tratamento no banho, cuja composição é controlada todas as 12 horas, por análise química e corrigida pela adição das quantidades adequadas de sais.

Por a temperatura de trabalho ser baixa, a estrutura do núcleo das peças não sofre, pràticamente, qualquer alteração. Assim, as peças são introduzidas no banho após prévio tratamento térmico de normalização ou têmpera, maquinadas sem perigo de deformação; o tempo de tratamento está geralmente compreendido entre 10 e 180 minutos e determina-se experimentalmente em cada caso particular.

O cianeto, ao decompor-se em carbono e azoto, permite a difusão destes elementos à superfície do aço.

Dada a fraca solubilidade do carbono na ferrite, forma-se na zona superficial uma estrutura composta de carbonetos e nitretos; a zona de ligação é constituída por 20 % de cementite (Fe_3C) e 80 % de nitreto de ferro, Fe_4N, com a espessura de 8 a 16 microns.

A zona de ligação, composta de ligas intermetálicas, constitui a camada de deslizamento, não apresentando tendência de caldeamento por efeito de atrito, o que elimina o perigo de gripagem quando em contacto deslizante com outras superfícies metálicas.

Constatou-se além disso que a resistência ao desgaste nesta zona de ligação é extremamente favorável, mesmo quando submetida a grandes esforços em condições precárias de lubrificação.

Por razão da baixa temperatura, o carbono é totalmente absorvido pela zona superficial, cessando a sua penetração no aço. O azoto atravessa a zona de ligação para difundir-se até à profundidade de cerca de um milímetro. A profundidade desta zona de difusão depende do tempo de duração do processo, da temperatura de tratamento e do tipo de material tratado.

A maior velocidade de difusão do azoto é encontrada nos aços com carbono, sendo sensìvelmente reduzida nos aços com elementos de liga favoráveis à formação de nitretos, devido à absorção do azoto por estes.

Nas mesmas condições de tratamento, um aço contendo elementos de liga apresenta, após um dado tratamento, uma espessura de camada de difusão menor do que um aço sem liga.

As propriedades melhoradas pela aplicação do processo Tenifer são as seguintes:

— resistência à fadiga por flexão;
— resistência à fadiga por torção;
— resistência ao desgaste, gripagem e corrosão.

Deve salientar-se que os aços com carbono e de baixa liga não sofrem grande aumento de dureza após o tratamento pelo processo Tenifer; no entanto, nos aços rápidos com elevada percentagem de elementos de liga, esse aumento permite atingir o valor de 1100 unidades Vickers ou 68 HRc, conforme se apresenta nas figuras 13 e 14.

FRAPIL

CONSTRUÇÕES E MONTAGENS ELÉCTRICAS

SARL

máquinas de soldadura eléctrica

transformadores

rectificadores de silício

processos semiautomáticos

licença

OERLIKON

SEDE E INSTALAÇÕES FABRIS

CAIS DE SÃO ROQUE
APARTADO 20
TELEFONE 23071/2
AVEIRO

DELEGAÇÃO NO SUL

RUA CASTILHO
38, r/c.-dt.
TELEFONE 52528
LISBOA-1

042.72:1658

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

FELTROS, FILTROS E TECIDOS INDUSTRIAIS PARA TODOS OS FINS:

EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS,
DE QUALQUER FIBRA

PASTA PARA PAPEL
PAPEL
FIBROCIMENTO
CURTUMES
FIAÇÕES DE ALGODÃO
LINHAS
INDÚSTRIAS QUÍMICAS

TECELAGENS
ACABAMENTOS
TINTURARIAS
LAVANDARIAS
ESTAMPARIAS
FILTROS
DESPOEIRAGEM

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
R.S.Pedro de Alcântara, 1
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C.P.2178 - Tel.4226

MOÇAMBIQUE
L.Marques - C.P.982 - Tel.741121
Beira - C.P. 1002 - Tel. 71497

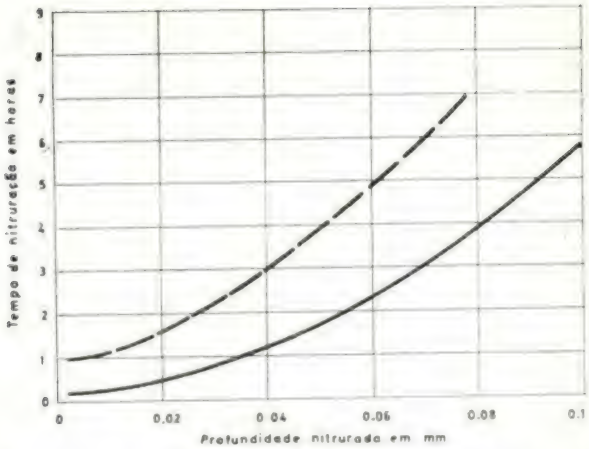


Fig. 13 — Profundidade de nitruração em função de tempo.

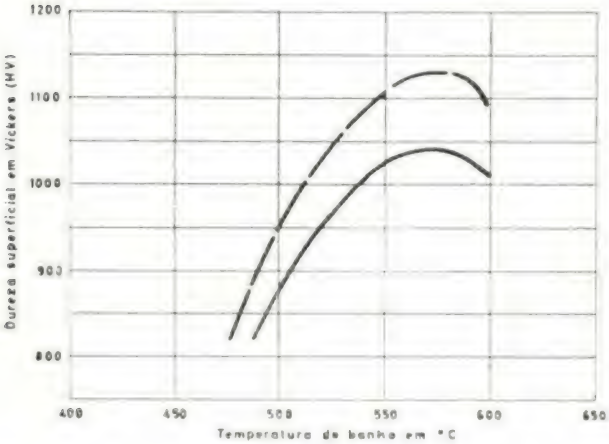


Fig. 14 – Dureza superficial do aço rápido em função da temperatura do banho.

Resumidamente, podem citar-se as seguintes vantagens respeitantes à aplicação do processo Tenifer no tratamento térmico de diferentes qualidades de aço:

1.° — as deformações e alterações dimensionais, em ferramentas prèviamente temperadas, são extremamente reduzidas, podendo aquelas ser maquinadas antes da aplicação do processo;

2.° — os custos operacionais e os riscos de perda das peças são muito reduzidos em relação aos dos outros tratamentos;

3.° — o polimento não apresenta maiores dificuldades do que o dos aços cementados;

4.° — a resistência ao desgaste, por corrosão das superfícies, é melhor do que a das peças cementadas;

5.° — para aplicação do processo Tenifer não há, normalmente, necessidade de aço especial.

6. CONTROLE DE PEÇAS TRATADAS TÈRMICAMENTE

Apesar de os progressos constantes realizados no fabrico de aços especiais que têm permitido obter uma maior constância na qualidade deste material, assim como nos métodos e equipamentos de que se dispõe para efectivar os tratamentos térmicos, continua a ser de absoluta necessidade o controle das peças tratadas.

Esta necessidade resulta dos muitos factores presentes na realização destes tratamentos, nomeadamente, a frequente e sempre incomodativa mistura de aços de diferentes qualidades numa série de peças, a presença de aços de diferentes fabricantes, sem esquecer as deficiências inevitáveis na utilização do equipamento existente que constituem a base de muitos outros acidentes de fabrico.

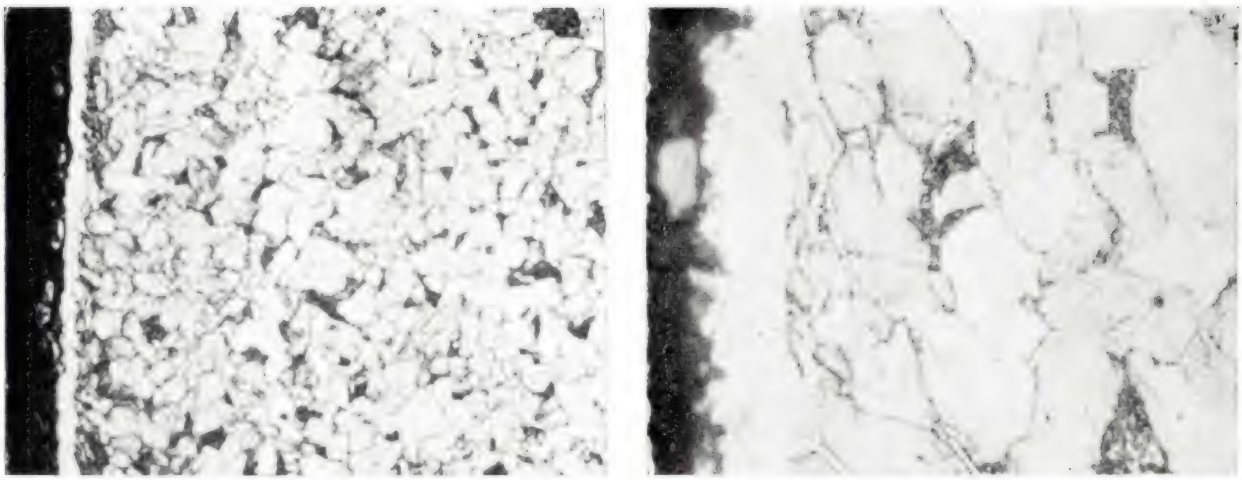
Os meios que se utilizam no controle e dizem respeito à obtenção das características mecânicas a que devem obedecer as peças tratadas, principalmente a dureza e a profundidade e dureza das camadas cementadas, para determinação das quais se dispõe de uma variada gama de máquinas de medida.

Pretende-se, porém, chamar a atenção para o facto de a experiência havida ter permitido verificar que o método micrográfico é o que melhor se adapta ao controle de um dado tratamento térmico, evidenciando a existência dos diferentes constituintes, sua dimensão e distribuição, embora não seja utilizado no controle fabril.

A aplicação correcta destes ensaios exige porém, um equipamento laboratorial relativamente dispendioso e um pessoal altamente qualificado, sobretudo no estudo de problemas relativos a aços especiais em que, como se indicou, os tratamentos aplicados são bastante complexos e de interpretação por vezes difícil.

Hoje em dia, dispõe-se de várias máquinas de ensaios de dureza utilizando, conforme as dimensões e características dos materiais, os seguintes métodos:

— Vickers, penetrador piramidal, de diamante de base quadrada, com ângulo de 136° e carga variável entre 100 g a 2 kg.



X 250 X 1000

Fig. 15 — Zona superficial de um aço SAE. 1015 nitrurado durante cerca de 90 minutos, temperado em água e revenido a 300 °C durante 30 minutos.

— Rockwell, penetrador cónico de diamante, com ângulo de 120°, aplicado sob uma carga de 10 kg, à qual se juntam progressivamente e sem choque as sobrecargas seguintes:

140 kg	Rockwell C
90 kg	Rockwell B e E
50 kg	Rockwell F

Determina-se o acréscimo permanente de penetração, que se exprime em unidades iguais a 0,002 mm.

Na execução destes ensaios, as peças cuja dureza se vai determinar devem permanecer imóveis e isentas de óxidos, tendo em atenção que os resultados podem ser falseados pela existência de descarburação superficial.

Estes ensaios utilizam-se para averiguar se as propriedades finais estão de acordo com o especificado e realizam-se sobre 5 % das peças de cada lote ou, no caso de peças de grande responsabilidade, em todos os seus constituintes.

No que respeita à determinação da camada cementada, indicam-se a seguir os métodos utilizados com mais frequência:

— exame visual, utilizado como controle oficinal apesar da sua imprecisão;
— exame micrográfico, que se faz geralmente com a ampliação de × 100 e adoptando métodos de preparação adequados;
— método mecânico, que consiste em determinar a variação de dureza em profundidade, sendo o método mais correcto para a determinação da cementação efectiva.

Na determinação da profundidade efectiva de cementação, procura-se um ponto de dureza Hv 525 ou Hv 625, tendo a respectiva curva um aspecto idêntico ao apresentado na figura 16.

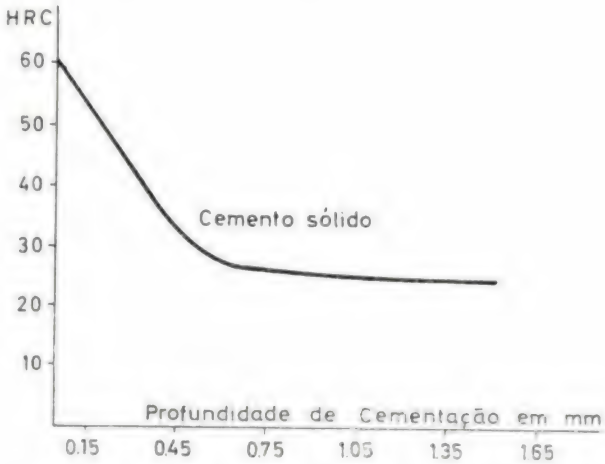


Fig. 16 — Curva representativa de variação de dureza com a profundidade de cementação.

Deve chamar-se a atenção para o facto de haver toda a conveniência em não limitar exageradamente as tolerâncias, devendo ter-se em conta, por um lado, o equipamento e o material existentes, e, por outro, a aplicação das peças tratadas, para não agravar desnecessàriamente o custo da produção.

C. D. U. 338.984

PLANIFICAÇÃO DE OBRAS

por J. S. BRAZÃO FARINHA
Eng.º civil (I. S. T.)

Continuação)

No «planeamento pormenorizado» entra-se com o mesmo grau de pormenor que se considera na programação semi-pormenorizada, mas agora separadamente por zonas de construção, por exemplo individualizando por apartamentos ou habitações uni-familiares, no caso de um prédio de andares.

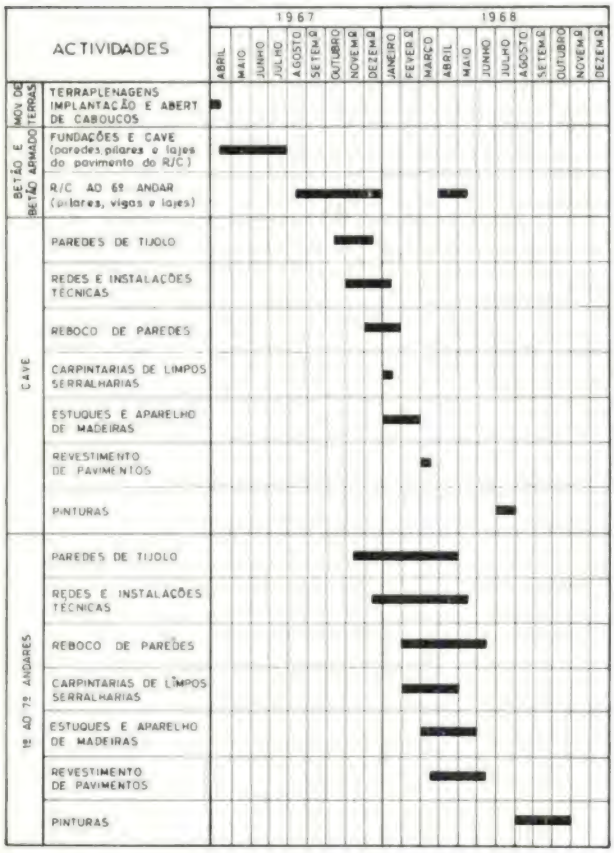


Fig. 10 — Planeamento geral para a construção de um edifício para habitação colectiva com oito pisos

Portanto o planeamento pormenorizado, interessa aos executantes e implica já com a necessidade de organização e depois de controlo do trabalho, em plena execução.

É evidente que só se pode chegar a um diagrama de planeamento geral depois de ter estudado a organização da obra e a preparação do trabalho em todo o pormenor.

Com os elementos apresentados consideramos que se disse o essencial sobre planificação do tempo, a qual, em resumo, permite:

a) Estabelecer o prazo de execução de um projecto
b) Identificar as actividades críticas que condicionam o prazo final de execução e sobre as quais há que exercer a maior vigilância
c) Estabelecer as datas em que se devem iniciar e finalizar cada uma das actividades críticas
d) Identificar as actividades folgadas e definir as datas mais cedo e mais tarde em que as mesmas podem ser iniciadas ou devem ser terminadas.

Este tipo de planeamento é o único que interessa aos donos das obras e às entidades fiscalizadoras. Mas é francamente insuficiente para os executantes, que terão de determinar, paralelamente, a capacidade necessária, isto é, o planeamento dos recursos, ou seja, estabelecer quais são as necessidades de mão-de-obra, de máquinas e de ferramentas, de materiais de construção, de matérias de consumo, das áreas indispensáveis ou do aproveitamento das áreas disponíveis para trabalho, do dinheiro a dispender, etc. O planeamento dos recursos, de que nos vamos em seguida ocupar sumàriamente, implica com a preparação do trabalho, isto é, com todo o pensamento da organização da execução (*).

Referimos que na elaboração do planeamento se consideravam os dias úteis, descontando domingos e feriados (excepto para casos especiais como seja o prazo para o endurecimento do betão). Cada ano tem 365 dias dos quais 52 são

(*) Esta questão será apresentada, com maior pormenor, numa nova série de artigos, a publicar em seguimento desta.

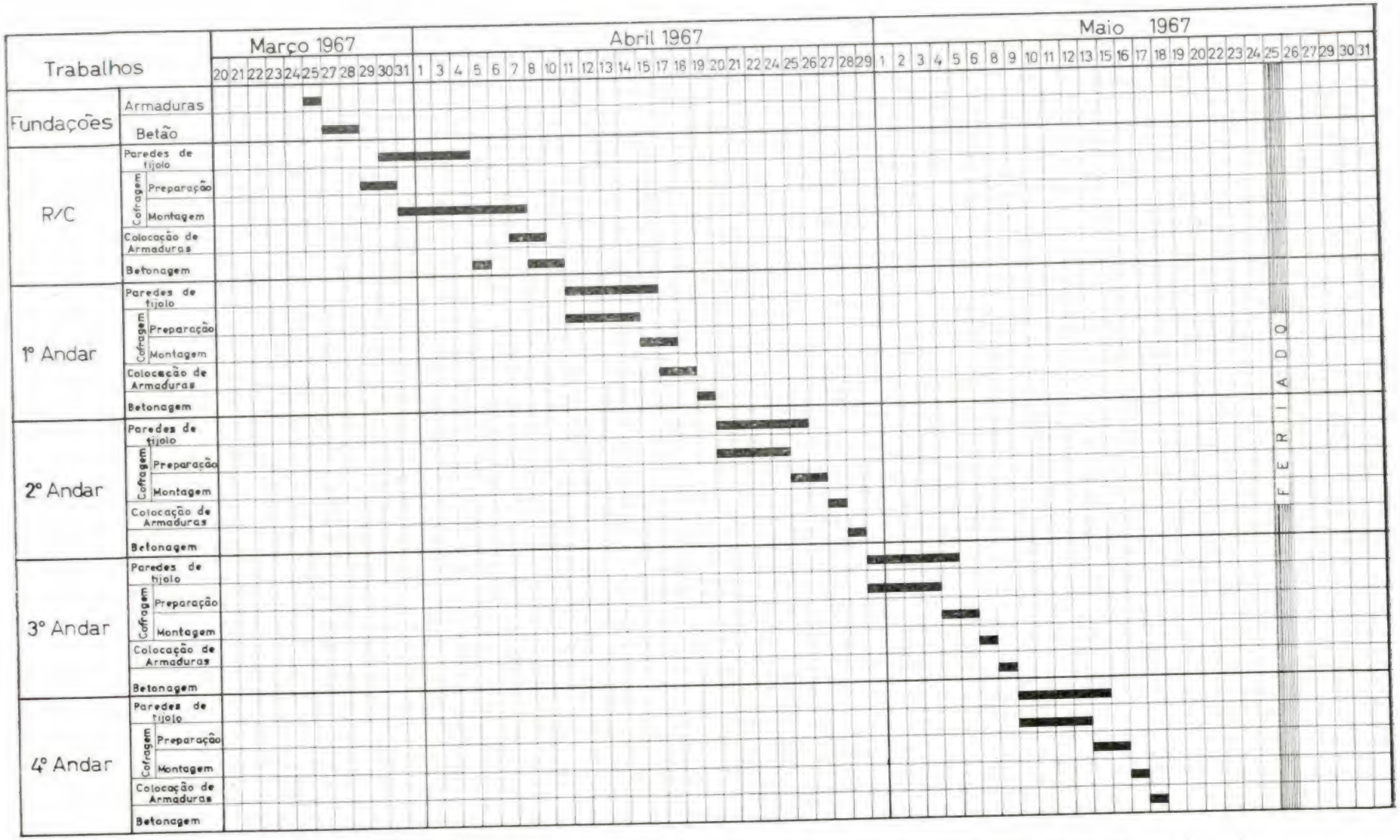


Fig. 11 — Planeamento semi-pormenorizado para a construção da estrutura de um prédio para habitação colectiva, com cinco pisos

domingos e 7 feriados obrigatórios (*). Portanto só podemos contar com

$$365 - (52 + 7) = 306 \text{ dias úteis}$$

ou seja 25,5 dias úteis por mês. Nos casos de pessoal permanente, que não é substituído por outro eventual, teremos ainda, de descontar os períodos de férias.

Nas obras que se executam ao ar livre, teremos também que descontar os dias de chuva, ou com temperatura inferior a um certo valor. Existem, hoje, em muitos países, dados oficiais que permitem estabelecer uma base de avaliação do número de dias, por cada ano, nessas condições (**).

No nosso País nada ainda existe publicado a tal respeito, propondo-se que se conte, pelo menos, com 3 semanas de interrupção por chuva, no caso de trabalhos de construção civil, decorrendo entre Outubro e Maio, inclusivé.

No caso de outros trabalhos, nomeadamente os que envolvam movimentos de terra importantes, deverá ser-se mais prudente. De igual modo se procederá, por exemplo, nos casos de construções em que a abertura de caboucos irá coincidir com o inverno.

Além dos tipos atrás referidos, teremos que atender ao *planeamento inicial*, a elaborar numa fase em que o estudo da obra está ainda mal definido.

Tal plano destina-se a dar uma primeira aproximação, e é definido apenas nas suas linhas gerais, uma vez que não é então, ainda, possível, entrar no pormenor. Trata-se portanto de um planeamento que considera, isoladamente, poucas actividades, e tem em vista fixar as primeiras ideias e definir necessidades gerais, com vista, fundamentalmente, a avaliar os recursos, estabelecer contactos com fornecedores, etc. O valor de um plano deste tipo, elaborado com poucos elementos concretos, depende essencialmente da experiência do planificador.

2.5 — Controlo da execução

Não basta programar uma obra ou desenhar um diagrama de planeamento do tempo para que tudo se realize dentro do que foi ponderado. Na construção raramente as condições iniciais permanecem imutáveis, porque surgem dias de chuva, em que se não trabalha, ou que obrigam a refazer trabalhos já executados; porque ocorrem dias frios que impedem as betonagens ou que retardam as descofragens; porque aparecem dificuldades de abastecimento de materiais por atraso de fornecedores; porque se verificam ausências de pessoal ou avarias de máquinas; porque o rendimento real do pessoal foi inferior ao inicialmente previsto; porque algumas actividades, em relação às quais existam grandes folgas, foram voluntàriamente atrasadas para evitar investimentos prematuros, etc.

Portanto é indispensável estudar todas as situações de desvio do programa, começando por fazer a respectiva representação gráfica. É de recomendar, mesmo quando se utiliza a técnica PERT, operar com diagramas de barras, em que as durações previstas, os atrasos e os avanços das diversas actividades, serão anotados em diferentes cores ou em diferentes convenções.

O registo respectivo pode oferecer o aspecto da fig. 12 em que se representa um caso de avanço e um caso de atraso de uma mesma actividade, analisados numa data d.

Nesta figura, i_p, i_r, f_p, f_r, significam respectivamente, data programada do início; início real; data programada do final; final replanificado na data d.

É uma boa prática aproveitar o fim de semana para fazer a representação, no mapa de planeamento, do andamento real da obra, iniciando os responsáveis, na 2.ª feira seguinte, o seu trabalho, por uma reunião para estudo da situação e para tomarem decisões. Examinam-se, então, as repercussões dos atrasos ou avanços verificados nalgumas das actividades, sobre o processamento das restantes, e tomam-se decisões a respeito de reforço de equipas, transferências de pessoal dentro da obra, etc.

Para fazer estas revisões podem adoptar-se gráficos auxiliares de planeamento de acordo com a fig. 14 contendo em abcissas os tempos e em ordenadas as percentagens ou as quantidades de trabalho executadas ou a executar, de acordo com o pessoal disponível. Em regra existem no período de tempo necessário à execução de uma dada actividade dois ou mais ritmos diferentes de execução, por exemplo em resultado

(*) Em regra, um ou dois destes feriados coincide, todos os anos, com domingos.

(**) Para Espanha, cf. Isolineas de Coeficientes de Reducción de los Dias de Trabajo, ed. Ministério de Obras Publicas, Serviço de Publicaciones.

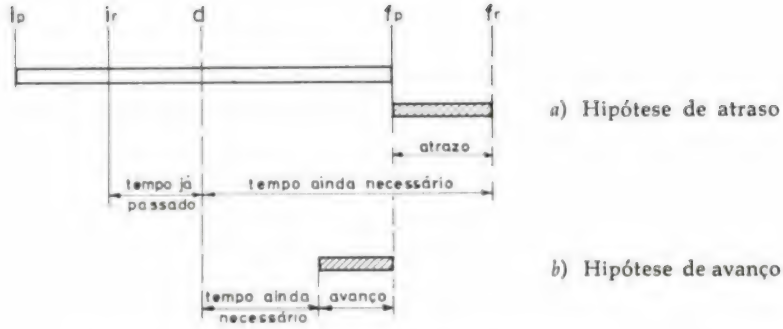


Fig. 12 — Estudo, na data d, da execução de uma actividade

da necessidade, muito corrente, de adaptar convenientemente o efectivo do pessoal ao incremento da obra, com uma variação semelhante à que se segue na fig. 13.

No exemplo apresentado na fig. 14, uma vez que foi verificado, no final da 6.ª semana, um atraso incomportável, na execução de uma dada actividade, decidiu-se aumentar o efectivo dos operários da equipe encarregada da respectiva execução, a fim de ainda poder concluir a referida actividade dentro do prazo inicialmente previsto, ou já com um pequeno atraso em relação à previsão inicial.

Além da análise semanal referida, uma vez por mês poderá rever-se todo o planeamento, refazendo os diagramas, depois de eliminar as actividades já executadas, recalculando os tempos e as folgas e, eventualmente, identificando as novas actividades críticas.

3 — PLANEAMENTO DAS CARGAS

Designam-se por «cargas» os recursos totais Q necessários para realizar as actividades que intervêm num empreendimento, no respeitante a mão-de-obra e equipamento. Na elaboração de um projecto, o tempo de desenhador, por exemplo, é uma carga; na execução de uma obra ou parte de uma obra como seja o betão a aplicar em estruturas, a área de cofragem dos diferentes elementos (pilares, vigas, lajes), o número de betoneiras necessárias à produção, o número de dumpers necessários ao transporte, o número de trabalhadores, etc., constituem as cargas dessas actividades.

Designa-se por «capacidade» C o conjunto dos recursos disponíveis, em determinado momento, para a realização de um empreendimento, podendo satisfazer ou não às imposições, expressas pela carga total Q, para a referida realização, no tempo pretendido. Inversamente, se este tempo t for uma condição inicial que deve ser respeitada, teremos que determinar a capacidade $C = \frac{Q}{t}$ que é necessário mobilizar.

No que segue admitimos que são conhecidas as cargas correspondentes às diversas actividades isto é, por agora não nos preocuparemos com a sua determinação, de modo semelhante ao que fizemos em relação à programação do tempo.

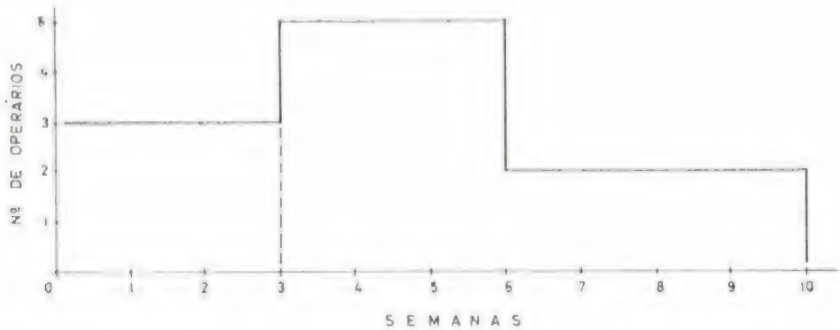


Fig. 13 — Efectivos de pessoal para a realização de uma actividade, em função do tempo

3.1 — Pert-cargas

Quando operamos com a técnica PERT, ao pretender fazer o estudo das cargas começamos pelo planeamento do tempo, e calculamos os tempos mais cedo e mais tarde, e as folgas das diversas actividades, conforme atrás referimos. Passamos depois ao gráfico de barras correspondentes, que permite fazer a sobreposição, à escala dos tempos, das diversas actividades, a que se faz corresponder as cargas parciais que lhes respeitam. Somando estas, por colunas, obtemos a variação da carga, em correspondência com o tempo.

tempo, isto é, para a direita ou para a esquerda, de acordo com as conveniências. É evidente que só interessa atrasar aquelas actividades que contribuem para a «ponta» do gráfico de variação dos recursos.

b) *Modificar a intensidade de algumas das actividades*, de preferência as que estão folgadas, dilatando o tempo de execução destas por forma a possibilitar a redução das necessidades instantâneas de recursos.

c) *Aumentar a capacidade* provisòriamente, isto é, recorrer a mão-de obra eventual ou ao aluguel de máquinas.

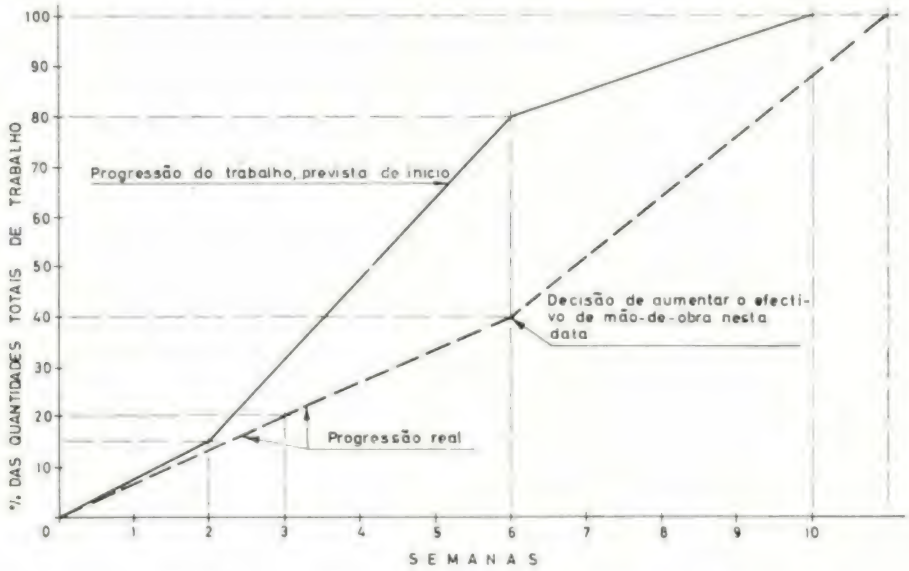


Fig. 14 — Registo auxiliar, da progressão prevista e real, de uma actividade, para efeitos de controlo da execução

Podemos, em seguida, completar estes elementos desenhando as curvas dos efectivos, isto é, as curvas de variação da mão-de-obra, do equipamento necessário, etc. Verificada, pelas curvas referidas, a existência de um traçado irregular (que implica admissão e despedimento, a curto prazo de pessoal ou desocupação momentânea de mão-de-obra ou de máquinas) ou ainda a incompatibilidade em relação aos recursos disponíveis (isto é, a capacidade existente ou realizável) poderemos operar das seguintes maneiras:

a) *Modificar a simultaneidade das actividades*, actuando sobre algumas delas, deslocando-as no

A actuação referida em a) pode fazer-se de mais de uma maneira, que vamos expor, através de exemplos.

3.1.1 — Actuação pelas folgas

Deveremos procurar começar pelas actividades com uma folga livre não nula, porque esta operação não implica com nenhuma outra consequência nas restantes actividades.

Depois passamos às actividades com folga total apreciável, nomeadamente aquelas em que é maior a relação.

$$\frac{\text{efectivo máximo}}{\text{efectivo médio}}$$

Prosseguimos, do modo indicado, até se obter a máxima regularização possível das curvas de carga em estudo.

Exemplo 1 — Seja o trabalho constituído por oito actividades, conforme tabela 5, para cuja realização só dispomos de 1 capataz, 12 trabalhadores e 10 pedreiros.

O gráfico de mão-de-obra que corresponde a esta 1.ª hipótese consta da fig. 18 a).

Verifica-se por virtude da existência de sobreposição, no tempo, das duas actividades 1,2 que somos conduzidos à necessidade de dispor de 2 capatazes (2C) nas três primeiras semanas de trabalho. Não se consegue reduzir este número

TABELA 5

Actividades e mão-de-obra necessária à realização de uma pequena obra, na situação «mais cedo»

Actividades			Duração das actividades (semanas)	Linha de ref.ª dos eventos	Mão-de-obra necessária para cada actividade		
Ref.ª	Antecessora	Sucessora			Capataz (C)	Trabalhador (T)	Pedreiro (P)
1	—	5	8	I	1	—	—
2	—	7	3	I	1	—	—
3	—	4, 6, 8	5	I	—	6	—
4	3	5	5	II	—	12	—
5	1,4	—	6	III	—	2	6
6	3	7	3	II	—	10	—
7	2,6	—	3	III	—	4	4
8	3	—	8	II	—	—	4

O diagrama PERT correspondente será o indicado na fig. 15 concluindo-se que a duração dos trabalhos será de 16 semanas. Desenhando o gráfico de barras correspondente (fig. 16) e anotando, por semanas, a mão-de-obra necessária (C-Capatazes; T-Trabalhadores; P-Pedreiros) podemos determinar, somando as colunas respeitantes a cada uma das semanas, quais os efectivos totais indispensáveis (capacidade necessária).

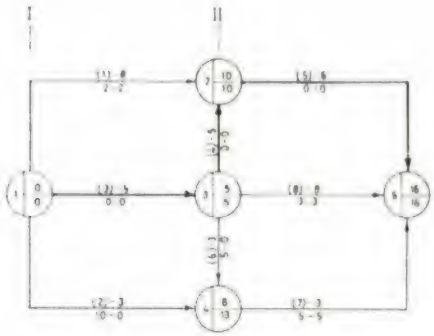


Fig. 15 — Diagrama PERT correspondente à solução «mais cedo» (1.º exemplo) com vista ao estudo da distribuição das cargas

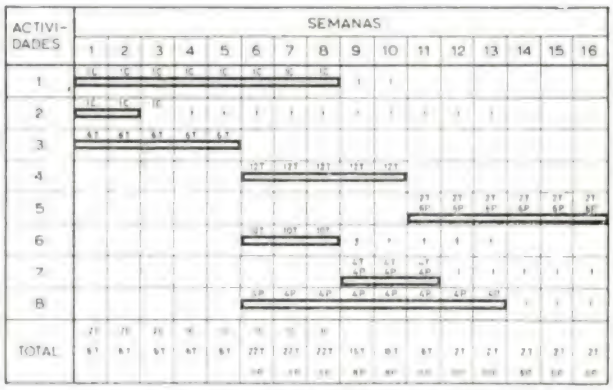


Fig. 16 — Gráfico de barras e indicação da mão-de-obra por actividades e total, por semanas, na hipótese da solução «mais cedo» (1.º exemplo)

para 1 adiando o início da actividade 1, mas isso já será possível iniciando a actividade 2, o mais cedo, a partir da 9.ª semana, imediatamente após a conclusão da actividade 1.

Prosseguindo, verifica-se, em seguida, que o grande número de trabalhadores requerido a partir da 6.ª semana pode ser reduzido atrasando o início das actividades 6 e 7 que poderão

começar, ambas, o mais cedo, a partir da 11.ª semana, após a conclusão da actividade 4.

Procedendo do modo indicado a distribuição da fig. 16 passa a ser substituída pela fig. 17 e os

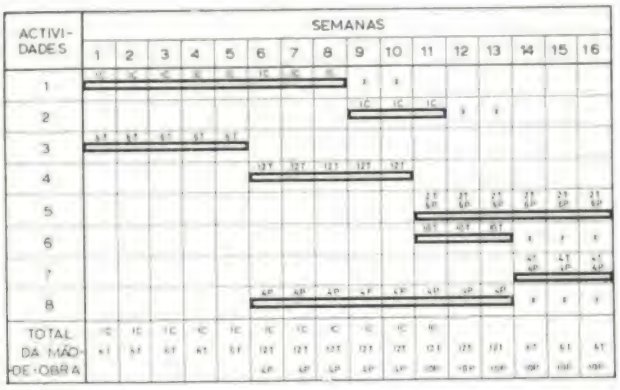


Fig. 17 — Gráfico de barras e indicação da mão-de-obra por actividades e total, por semanas, após estudo de regularização da mão-de-obra (2.º exemplo)

gráficos de mão-de-obra estão expressos pelas fig. 18 a), b), respectivamente.

As relacções lógicas entre actividades já não são, exactamente, as expressas pela tabela 5 visto haver alguns factos novos a atender os quais, necessàriamente, não modificam a natureza do problema. De qualquer modo o diagrama PERT modifica-se em relação ao indicado na fig. 15. Para o redesenhar começa-se por estabelecer a tabela 6 modificando a situação das actividades 2, 6, 7. Agora o início de actividade 2 fica condi-

TABELA 6

Actividades necessárias à realização de uma pequena obra (1.º exemplo) modificadas as suas relações lógicas no que se refere à situação da tabela 5, a fim de permitir a regularização da carga

ACTIVIDADES				Linha de ref.ª dos eventos
Ref.ª	Antecessora	Sucessora	Duração (semanas)	
1	—	2,5	8	I
2	1	7	3	II
3	—	4,8	5	I
4	3	5,6	5	II
5	1,4	—	6	III
6	4	7	3	III
7	2,6	—	3	IV
8	3	—	8	II

cionado pela conclusão da actividade 1, isto é, 2 segue-se a 1 (condição imposta para não obrigar a utilizar mais que 2 C, anteriormente 2 não tinha antecessora); a actividade 6, que tinha a actividade 3 como directamente antecessora, passa agora a suceder directamente à actividade 4 para não exceder 12 T. Mas como 4 é sucessora da 3, fica respeitada a condição de 3 anteceder 6. A actividade 7 que se sucede à 6, acompanhou o descolamento desta última.

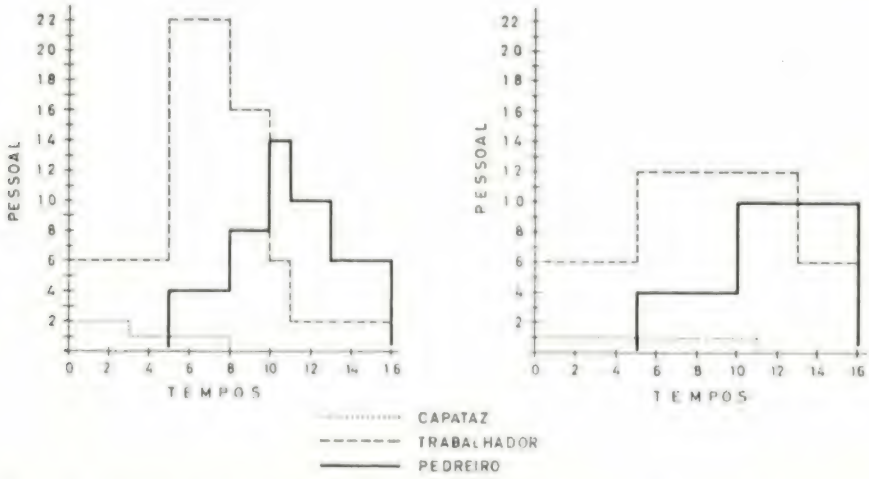


Fig. 18 — Gráficos da capacidade necessária à excecução de um projecto, respectivamente na situação do planeamento «mais cedo» e depois de estudada a regularização da carga

No que se refere às actividades sucessoras, à 1, além da 5 passa a suceder-se a 2, à actividade 3 passam a suceder-se só as 4 e 8, e à 4 passa a suceder-se a actividade 6.

O novo diagrama PERT é o indicado na fig. 19 em que a duração total se mantém em 16 semanas, mas com menor mobilização de recursos, em função do tempo.

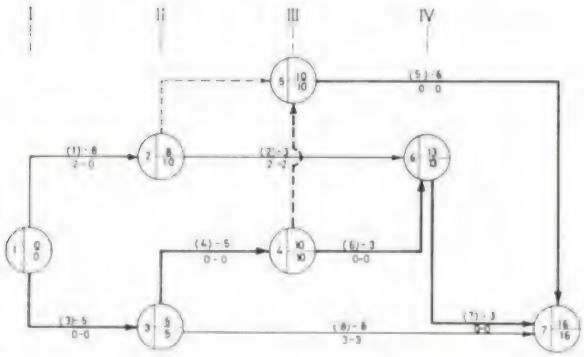


Fig. 19 — Diagrama PERT correspondente ao exemplo da fig. 15 depois de regularizada a curva das necessidades de mão-de-obra

Os valores da relação $\frac{\text{efectivo máximo}}{\text{efectivo médio}}$, para cada um dos tipos de intervenientes, conduz ao seguinte:

capataz, no 1.º gráfico $\dfrac{2}{\dfrac{2\times 3 + 1\times 5}{8}} = 1{,}45$

no 2.º gráfico 1,00

trabalhador, no 1.º gráfico

$$\frac{22}{\dfrac{6\times 5 + 22\times 3 + 16\times 2 + 6\times 1 + 2\times 5}{16}} = 2{,}44$$

no 2.º gráfico $\dfrac{12}{\dfrac{6\times 5 + 12\times 8 + 6\times 3}{16}} = 1{,}33$

pedreiro, no 1.º gráfico

$$\frac{14}{\dfrac{4\times 3 + 8\times 2 + 14\times 1 + 10\times 2 + 6\times 3}{11}} = 1{,}93$$

no 2.º gráfico $\dfrac{10}{\dfrac{4\times 5 + 10\times 6}{11}} = 1{,}38$

Notemos que o procedimento indicado será fácil de aplicar nos casos em que existam grandes folgas e, ao programa dos tempos «mais cedo» não correspondam grandes desiquilíbrios na curva dos efectivos. Se assim não acontecer, não sabemos qual a ordem pela qual as actividades deverão ser deslocadas, e uma das soluções será a classificação das actividades pelas datas mais tarde.

3.1.2 — Actuação pelas datas mais tarde

Neste procedimento começamos pela programação dos tempos do modo habitual, calculamos as folgas das diversas actividades e as datas correspondentes aos diversos eventos. Ordenamos as actividades pelas datas mais tarde e traça-se o diagrama de barras considerando-as pela ordem referida, respeitando a respectiva sucessão, terminando nas datas mais tarde e verificando as repercussões que daí vem para o gráfico das cargas.

Exemplo 2 — Seja o trabalho constituído por 7 actividades, conforme tabela 7 para cuja realização podemos dispor até 30 trabalhadores.

O diagrama PERT correspondente será o indicado na figura 20 concluindo-se que a duração

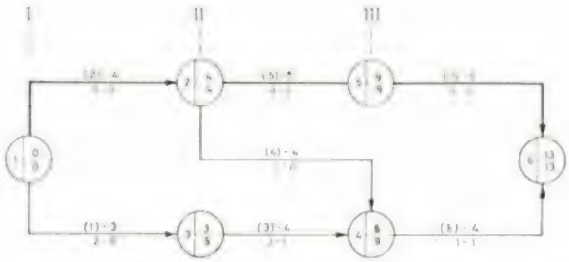


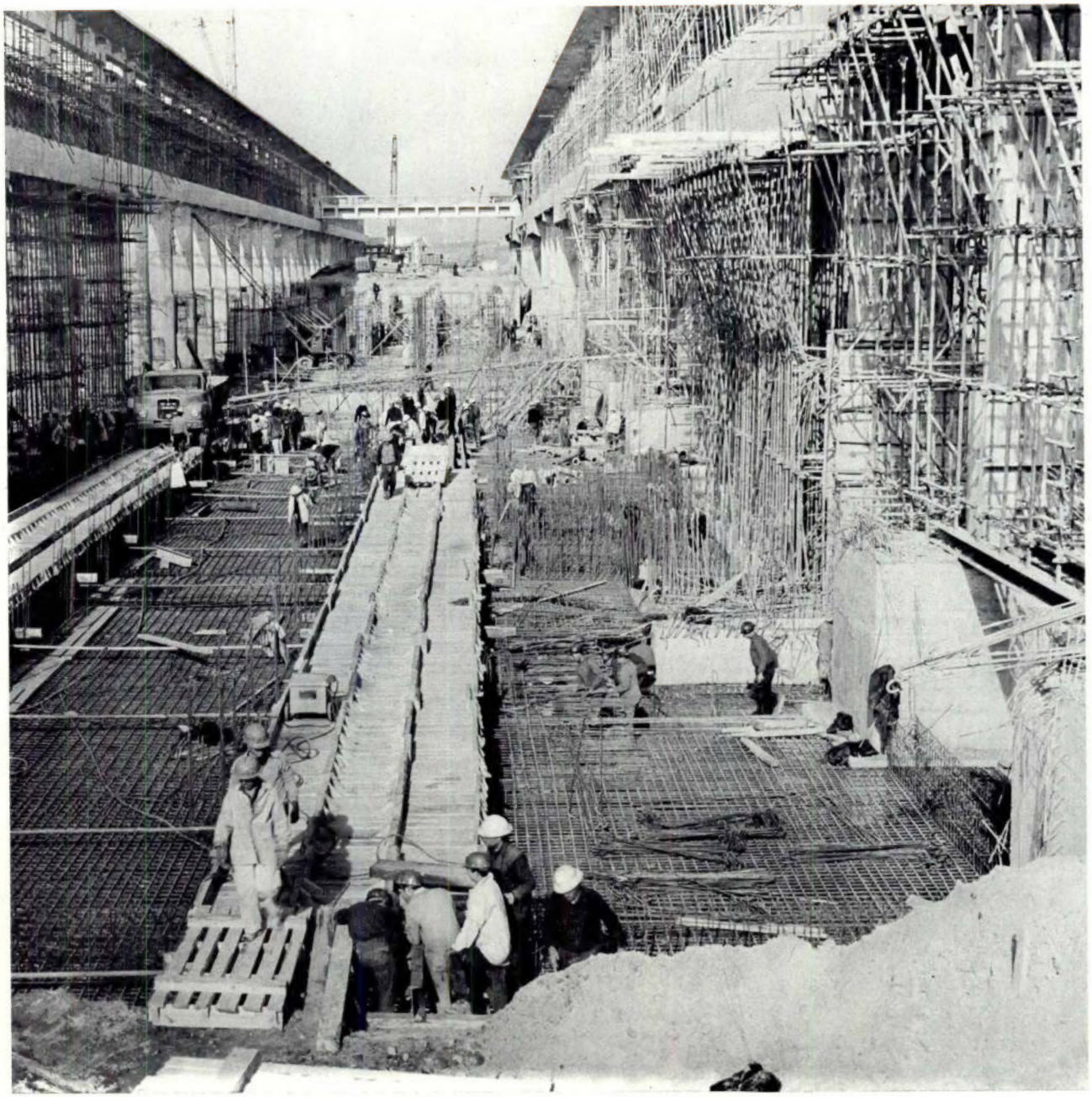
Fig. 20 — Diagrama PERT correspondente à solução «mais cedo» (2.º exemplo) com vista ao estudo da distribuição das cargas

dos trabalhos é de 13 semanas, deduzindo-se, para cada actividade, os tempos mais cedo do seu início e mais tarde da respectiva conclusão.

Em seguida passamos à representação em gráfico de barras e, a fim de que o número máximo de trabalhadores (30) não seja excedido, actuaremos, atrasando as ou algumas das actividades folgadas. Para isso, organizamos a tabela 8, em que as actividades se mudam pela ordem do começo mais tarde.

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.

PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13-3º TELEF. 366506 LISBOA 2 • DELEGAÇÕES: CABO VERDE · ANGOLA · MOÇAMBIQUE

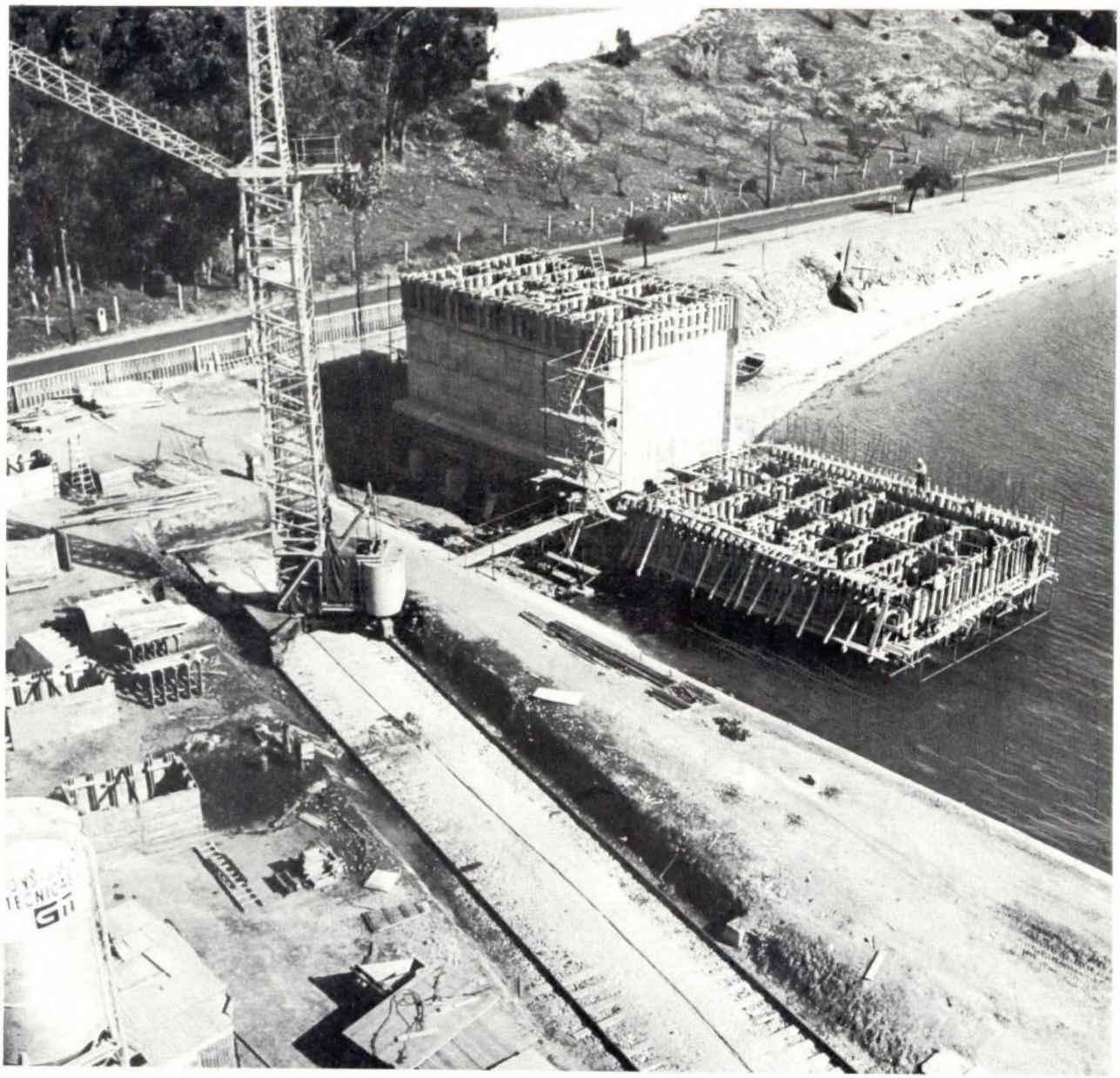


SIDERURGIA NACIONAL — Seixal — Estruturas da Instalação de Laminagem (2.ª fase) — Grandes Naves Fabris.

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS
SILOS E CHAMINÉS
FUNDAÇÕES ESPECIAIS
PONTES E VIADUTOS
CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.

PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13-3º TELEF. 366506 LISBOA 2 • DELEGAÇÕES: CABO VERDE · ANGOLA · MOÇAMBIQUE



MINES D'ALJUSTREL — Setúbal (Cachofarra) — Carreiras de construção de caixotões flutuantes para a execução de um cais de carga de minérios, no Sado

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS
SILOS E CHAMINÉS
FUNDAÇÕES ESPECIAIS
PONTES E VIADUTOS
CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS

MIRA - 25.000

TABELA 7

Actividades e mão-de-obra necessária à realização de uma pequena obra, na situação «mais cedo» (2.º exemplo)

ACTIVIDADES			Duração das actividades (semanas)	Linha de ref.ª dos eventos	Mão-de-obra necessária para cada actividade (trabalhadores)
Ref.ª	Antecessora	Sucessora			
1	—	3	3	I	10
2	—	4,5	4	I	20
3	1	6	4	II	20
4	2	6	4	II	10
5	2	7	5	II	10
6	3,4	—	4	III	10
7	5	—	4	III	10

TABELA 8

Lista das actividades do 2.º exemplo pela ordem de começo mais tarde

Ref.ª das activid.	Duração das activid. (semanas)	DATAS DE INÍCIO	
		Mais cedo	Mais tarde
2	4	0	0
1	3	0	2
5	5	4	4
4	4	4	5
3	4	3	5
7	4	9	9
6	4	8	9

A actividade 2, por ser crítica, começará na data O. Em seguida, fig. 21, vamos considerar a actividade (1) que se lhe segue na tabela 8 e que poderá começar, o mais tarde, na data 2, e depois a actividade (5) que começará na data 4, na sucessão da actividade 2. Seguem-se as actividades (4) e (3) verificando-se que o início desta última tem que se adiar para o final da semana 8, a fim de se não exceder 30T. A actividade (7) que sucede à 5, só pode ser iniciada no final da semana 9, pela mesma razão de não exceder 30T. Finalmente, a actividade (6) iniciar-se-á no final da semana 12. Portanto, se não podermos aumentar a capacidade para além de 30 trabalhadores, a obra apresentada só pode ser executada no prazo de 16 semanas e não de 13 semanas conforme inicialmente se calculara.

Sendo assim, de acordo com a fig. 21, não haverá necessidade dos serviços simultâneos

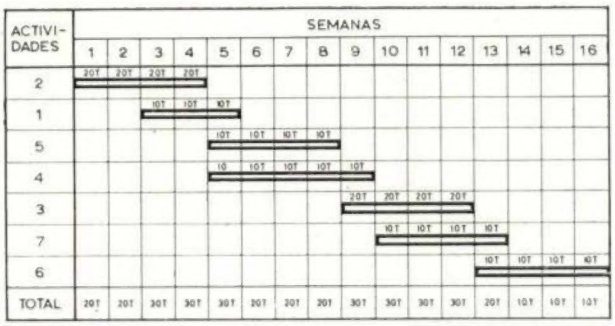


Fig. 21 — Gráfico de barras e indicação da mão-de-obra por actividades e total, por semanas, na hipótese da solução «mais cedo», (2.º exemplo)

de mais do que 30 trabalhadores. Notemos porém a existência de uma certa irregularidade na utilização do pessoal, o que convém, em regra, procurar eliminar. Verifiquemos que se a actividade (1) for deslocada para ter o seu início no final da 5.ª semana (o que é possível, porque a actividade que se lhe segue é a 3), consegue-se uma melhor regularidade da curva de utilização de mão-de-obra como se pode verificar na figura 22 mantendo o prazo de execução nas mesmas 16 semanas.

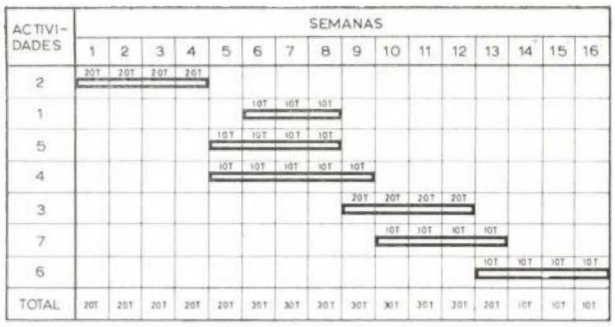


Fig. 22 — Gráfico de barras e indicação da mão-de-obra por actividades e total, por semanas, após estudo de regularização da mão-de-obra (2.º exemplo)

Portanto, finalmente, o diagrama PERT que corresponde à solução final será o da figura 23, desenhado com base na tabela 9.

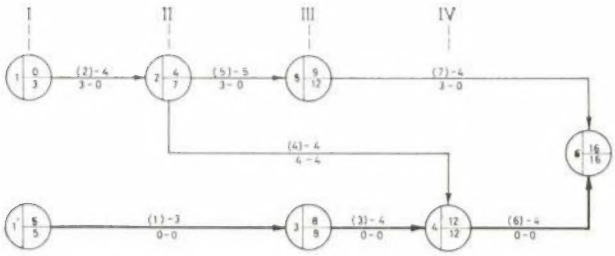


Fig. 23 — Diagrama PERT correspondente ao 2.º exemplo (fig 20) depois de regularizada a curva das necessidades da mão-de-obra

TABELA 9

Actividades necessárias à realização de uma pequena obra (2.º exemplo) modificadas as suas relações lógicas no que se refere à situação da tabela 8, a fim de permitir a regularização da carga

ACTIVIDADES			Duração	Linha de ref.ª dos eventos
Ref.ª	Anteces-sora	Sucessora		
1	—	3	3	I
2	—	4,5	4	I
3	1	6	4	III
4	2	6	4	II
5	2	7	5	II
6	3,4	—	4	IV
7	5	—	5	III

3.1.4 — Utilização do computador

Referimos nos parágrafos anteriores métodos de actuação manual, que apresentam dificuldades de operação para trabalhos grandes, isto é, digamos, com mais de uma centena de actividades. Existem programas para computador, que permitem dar a conhecer soluções vizinhas da óptima.

Esses programas efectuam a simulação dos tempos e permitem a escolha, em cada instante, das actividades que devem ser empreendidas, prosseguidas, interrompidas ou reduzidas. A escolha tem em conta um critério complexo que integra o grau de urgência, as folgas e a duração das diversas actividades; a sua explanação cai fora do âmbito de iniciação das técnicas do planeamento.

3.7 — Gráfico barras-carga

Para conclusão das noções objectivas que estamos a referir com vista ao planeamento das cargas, consideremos agora um terceiro exemplo, uma obra directamente planeada pelo gráfico de barras e que se refere a um trabalho muito mecanizado de construção de uma estrada, fig. 24. O projecto em referência pode, por hipótese, ser decomposto em 6 actividades, conforme tabela 10.

A mão-de-obra e os equipamentos cuja presença é simultâneamente necessária à realização de cada uma das actividades estão expressos nas tabelas 11 e 12 em unidades (n.º de capatazes, n.º de escavadoras, etc.).

De acordo com o diagrama de planeamento e as indicações das tabelas 11 e 12, podemos desenhar um quadro que nos dá a variação da carga, isto é, o plano de utilização de mão-de-obra (fig. 25) e de equipamento (fig. 26).

Verificamos a grande regularidade de utilização das máquinas, o que é essencial num trabalho mecanizado. Pelo contrário, existem algumas acentuadas irregularidades na utilização da mão-de-obra e a sua regularização (sem recorrer ao despedimento momentâneo para admissão posterior, que é impraticável ou à transferência para outras obras, nem sempre possível) teremos que prever períodos de desemprego da mão-de-obra correspondente, com as inerentes consequências, se chegar a ser representativo o respectivo encargo.